

## 抚育间伐对杉木人工林生长及出材量的影响

徐金良<sup>1,3</sup>, 毛玉明<sup>1</sup>, 郑成忠<sup>1</sup>, 范荣德<sup>1</sup>, 周世水<sup>1</sup>,  
陈永辉<sup>1</sup>, 成向荣<sup>2</sup>, 虞木奎<sup>2\*</sup>

(1. 浙江省开化县林场, 浙江 开化 324300; 2. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400;  
3. 浙江省开化县林业科学研究所, 浙江 开化 324300)

**摘要:** 间伐对人工林生长及木材质量具有重要影响。在浙江开化开展了间伐强度(强度、中度和对照)和间伐方式(间伐1次,间伐2次)对杉木人工林生长及出材量等的影响研究,第1试验区大径材培育林分在第7年和第14年进行了2次间伐,第2试验区中径材培育林分仅在第12年时进行1次间伐。结果表明:22年生大径材培育林分 and 19年生中径材培育林分不同间伐处理之间树高、总断面积的差异均不显著。间伐显著增加了林木胸径的生长,大径材培育林分强度和中等度间伐处理的平均胸径分别比对照增加13.78%和9.69%,中径材培育林分强度和中等度间伐处理的平均胸径分别比对照增加12.28%和7.02%。间伐显著促进了林木单株材积的增加,2组试验林分活立木材积随着间伐强度的增加而降低,第1试验区22年生林分不同间伐强度之间活立木材积的差异不显著( $P > 0.05$ ),第2试验区强度间伐活立木材积显著低于对照( $P < 0.05$ ),中等度间伐林分活立木材积与对照和强度间伐之间的差异不显著( $P > 0.05$ )。2组试验林分总蓄积和出材量也随着间伐强度的增加而降低,二者在3种间伐处理之间均没有显著差异( $P > 0.05$ )。间伐强度不能有效增加林分活立木材积和林分出材量,间伐次数对林分出材量及出材规格有重要影响。试验区杉木大径材培育以2次间伐,总间伐强度50%左右较为适宜,而中径材培育则以1次中等度间伐(约25%)为宜。

**关键词:** 杉木; 间伐; 断面积; 材积; 蓄积量; 出材量

中图分类号: S791.27

文献标识码: A

## Effect of Thinning on Growth and Timber Outturn in *Cunninghamia lanceolata* Plantation

XU Jin-liang<sup>1,3</sup>, MAO Yu-ming<sup>1</sup>, ZHENG Cheng-zhong<sup>1</sup>, FAN Rong-de<sup>1</sup>, ZHOU Shi-shui<sup>1</sup>,  
CHEN Yong-hui<sup>1</sup>, CHENG Xiang-rong<sup>2</sup>, YU Mu-ku<sup>2</sup>

(1. Kaihua Forestry Farm, Zhejiang Province, Kaihua 324300, Zhejiang, China; 2. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;  
3. Institute of Forestry Science, Kaihua County, Zhejiang Province, Kaihua 324300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Effect of thinning intensity (heavy thinning, moderate thinning and unthinning) and times of thinning (thinning once or twice a rotation) on stand growth and timber outturn of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) were studied in Kaihua, Zhejiang Province. The first experiment was to cultivate big-diameter timber stand and thinned in the seventh year and fourteenth year, respectively, while the second experiment was to cultivate middle-diameter timber stand and thinned in the twelfth year. The results showed that there were no significant difference in tree height and total basal area among three thinning treatments in 22-year-old big-diameter timber stand and 19-

收稿日期: 2013-02-23

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY12C16007); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(RISF61257)

作者简介: 徐金良(1964—),男,浙江开化人,高级工程师,主要从事森林资源培育研究。

\* 通讯作者: 研究员,博士,主要从事林业生态工程研究。

year-old middle-diameter timber stand. The diameter at breast height (DBH) increased with the increase of thinning intensity. The average DBH value of big-diameter timber stand with heavy thinning and moderate thinning treatments increased by 13.78% and 9.69%, respectively, compared with the unthinned stand, while the DBH of middle-diameter timber stand with heavy thinning and moderate thinning treatments increased by 12.28% and 7.02%. Thinning significantly increased the stem volume per tree, the living tree volume (LTV) of stand decreased with the increasing thinning intensity in the two experiments. In the first experiment, there was no significant differences in the LTV of 22-year-old stand among three thinning treatments ( $P > 0.05$ ). In the second experiment, the LTV of 19-year-old stand in the heavy thinning treatment was significantly lower than that in unthinned stand, there was no significant difference in LTV between the moderate thinning treatment and heavy thinning or unthinned treatments ( $P > 0.05$ ). The total stand volume (TSV) and total wood outturn (TWO) reduced with the increasing thinning intensity in the two experiments, there were no significant differences in TSV and TWO among the three thinning treatments ( $P > 0.05$ ). It is concluded that thinning intensity can not effectively increase the live tree volume and timber outturn, and the times of thinning has an important effect on timber outturn and timber size. For big-diameter timber cultivation of Chinese fir, twice thinning with 50% thinning intensity is appropriate in a rotation. It is suitable for middle-diameter timber cultivation with once moderate thinning (approximate 25%).

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; thinning; basal area; stem volume; stand volume; timber outturn

杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 是我国特有的优良针叶树种, 具有生长快、产量高、材质好、适应性强和经济效益高等优点, 是我国南方山地最重要的用材林造林树种。目前, 南方各省区已建立 896 万  $\text{hm}^2$  的杉木人工林基地, 其中幼、中龄林面积约占总面积的 84.16%。通常杉木造林密度较大, 为了改善林分结构, 提高林分质量, 必须通过抚育间伐合理地调整林分密度。

有关抚育间伐对杉木生长的影响已开展了较多研究, 但多数研究周期较短, 间伐对林分生长、断面积和材积等长期影响研究仍然较少<sup>[1-2]</sup>。间伐对林分生长的影响较为复杂, 受立地条件、间伐方式、间伐强度、轮伐期等多种因素制约。因而开展不同区域、不同间伐处理对林分生长影响的研究, 有助于深入认识间伐对林木个体发育和林分蓄积变化影响的调控机制。根据杉木分布及产区区划和杉木种子区划结果, 浙江省开化县位于杉木中带东区北缘和黄山天目山种子区, 为杉木的边缘产区。开化县立地条件和气候与福建、江西等杉木中心产区都有一定差异。为此, 作者在浙江开化结合生产开展了杉木不同间伐强度试验, 第 1 试验区以大径材为培育目标, 在第 7 年和第 14 年进行了 2 次间伐, 第 2 试验区以中径材为培育目标, 在第 12 年进行 1 次间伐, 研究不同间伐处理对林分树高、胸径、断面积、材积和出材量等的影响, 为试验区杉木人工林结构优化和高效培育提供依据。

## 1 研究区概况

研究区位于浙江省开化县林场城关分场小桥头林区杉木大径材培育基地 (118°25' E, 29°09' N) 和花山林区杉木速丰林基地 (118°24' E, 29°09' N)。小桥头林区杉木林为 1991 年春季采用优良家系群体无性化扦插苗造林, 花山林区杉木林为 1986 年春季采用开化 1 代种子园实生苗造林, 初植密度均为 3 000 株  $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。

试验区年平均气温 16.4  $^{\circ}\text{C}$ , 年平均降水量 1 814 mm, 无霜期 252 d, 年日照总时数 1 334.1 h, 气候属亚热带季风气候。试验地前茬为马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 疏林, 海拔 180 ~ 300 m, 土壤为红黄壤。小桥头林区土层厚度 80 cm 以上, 质地疏松, 平均坡度 20°, 立地指数 18 (基准年龄 20 a); 花山林区土层厚度 60 cm 以上, 平均坡度 23°, 立地指数 16 (基准年龄 20 a)。

## 2 研究方法

### 2.1 间伐试验

1997 年 7 月, 分别在小桥头林区和花山林区选择坡向一致的 7 年生、12 年生杉木人工林, 在上、中、下坡位设置 3 个区组。每个区组设置强度间伐、中度间伐和对照 3 种间伐处理小区, 小区面积 20 m  $\times$  20 m, 完全随机排列, 每处试验 3 次重复, 共 18 个小区。间伐前林分基本情况见表 1。

表1 间伐前杉木人工林林分的基本情况

试验区	区组号	地点	立地指数	林龄/a	林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均树高/m	平均胸径/cm	郁闭度	培育目标
第1试验区	1	小桥头林区	18	7	2 490	7.7	11.8	0.90	大径材
	2	小桥头林区	18	7	2 680	8.1	11.5	0.90	大径材
	3	小桥头林区	18	7	2 550	7.9	12.0	0.90	大径材
第2试验区	1	花山林区	16	12	2 640	11.5	13.6	0.95	中径材
	2	花山林区	16	12	2 710	11.3	13.8	0.95	中径材
	3	花山林区	16	12	2 760	11.9	14.2	0.95	中径材

间伐前对每个小区所有林木逐株编号、划定胸径线,进行每木检尺。按照留优去劣、间密留匀、兼顾株间距的原则,采用下层间伐法对林分进行间伐(主要伐去平均木以下的个体)。第1试验区杉木林分于1997年7月和2004年11月进行2次间伐,第1次间伐:强度间伐处理为33%(以林分密度计,保留密度1 725株·hm<sup>-2</sup>),中度间伐为20%(保留密度2 040株·hm<sup>-2</sup>),对照不间伐;第2次间伐:强度间伐18%(保留密度1 384株·hm<sup>-2</sup>),中度间伐16%(保留密度1 682株·hm<sup>-2</sup>),对照为15%(保留密度2 104株·hm<sup>-2</sup>)。第2试验区于1997年7月进行1次间伐:强度间伐为36%(保留密度1 673株·hm<sup>-2</sup>),中度间伐25%(保留密度2 055株·hm<sup>-2</sup>),对照不间伐。同一区组不同间伐强度小区间伐前平均胸径和密度均无显著差异。

## 2.2 测算方法

对每个小区所有林木定期测量胸径和树高。胸径采用围径尺测量,树高采用测高标杆测量。以2 cm为一个径级,统计各径级株数及所占百分数,用断面面积加权法计算林分活立木平均胸径和总断面积。

单株材积根据李林<sup>[3]</sup>编制的开化杉木二元立木材积公式计算:

$$V = 0.000\ 101\ 614 \times D^{1.939\ 021\ 819} \times H^{0.736\ 582\ 360} \quad (1)$$

式中: $V$ 为单株材积(m<sup>3</sup>), $D$ 为各小区平均胸径(cm), $H$ 为平均树高(m)。

林分蓄积量通过小区平均单株材积乘以株数计算,然后换算为每公顷蓄积量。

规格材尺寸:以国标 GB4816-84 为检量标准。距大头斧口(或锯口)2.5 m处直径7 cm以上,以2 cm进位,不足2 cm时,足1 cm时进位,否则舍去。材长在5 m以上,梢端直径足6 cm,长度1 m进位,不足1 m时,由梢端舍去。2.5 m处直径,8~14 cm为小径材,16~20 cm为中径材,22 cm以上为大径材。根据刘景芳等<sup>[4]</sup>的研究结果,以2 cm为一个径级,用下式规格材原条出材量经验式计算:

$$V = 3.602\ 137\ 58 \times 10^{-5} \times D^{1.947\ 520\ 76} \times H^{1.007\ 937} \quad (2)$$

$$D_{2.5\text{ m去皮}} = 0.865\ 16 \times D_{1.3\text{ m带皮}} - 0.453\ 06 \quad (3)$$

小条木尺寸:根据刘景芳等<sup>[4]</sup>提出的标准,梢端直径足4 cm,长度在2 m以上,以1 m进位,不足1 m归入梢端部分;以中央直径为检尺径,以2 cm进位,不足2 cm时,足1 cm时进位,否则舍去。小条木出材量经验公式:

$$V = -0.027\ 555\ 240\ 9 + 0.003\ 686\ 496\ 3 \times D + 0.001\ 672\ 443\ 05 \times H \quad (4)$$

为便于反映立木材积按照胸径径级的分布特征,根据式(3)将2.5 m处直径计算的原条材积转化为对应胸径处材积数据。根据现有的一些研究结果<sup>[2]</sup>,平均胸径≥26 cm为大径材,16 cm≤平均胸径<26 cm为中径材,平均胸径<16 cm归入小径材。本研究也采用这一标准对不同胸径径级的规格材进行分析。

## 2.3 数据处理

所有试验数据均使用 Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件进行分析,采用 SPSS 17.0 的单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan 多重比较进行检验( $\alpha=0.05$ )。

## 3 结果与分析

### 3.1 间伐对树高生长的影响

不同间伐处理林分平均树高的多次调查结果表明:随着间伐强度增大,林分平均树高比对照均有一定程度的增加。2次间伐型22年生林分强度间伐和中度间伐平均树高分别为17.7、17.2 m,比对照增加5.36%和2.38%;1次间伐型19年生林分强度间伐和中度间伐平均树高分别为14.5、14.2 m,比对照增加4.32%和2.16%(表2)。经方差分析,二组试验不同林龄段的树高及相对生长量在3种间伐处理之间均没有显著差异( $P>0.05$ ),这表明间伐对树高生长的促进作用是有限的。林分树高生长取决于种苗的遗传品质和立地质量及其相互作用,与密度关系不大。

表2 不同间伐处理的杉木人工林林分平均树高生长状况

试验区	林龄/a	对照		中度间伐		强度间伐	
		平均树高/m	平均生长量/(m·a <sup>-1</sup> )	平均树高/m	平均生长量/(m·a <sup>-1</sup> )	平均树高/m	平均生长量/(m·a <sup>-1</sup> )
第1试验区	7(伐前)	7.7	1.10	8.0	1.14	8.1	1.16
	7(伐后)	7.7	1.10	8.6	1.23	8.4	1.20
	9	10.6	1.18	11.5	1.28	11.7	1.30
	14(伐前)	13.4	0.96	13.7	0.98	14.0	1.00
	14(伐后)	13.8	0.99	14.2	1.01	14.5	1.03
	16	14.7	0.92	14.9	0.93	15.3	0.95
	17	14.8	0.82	15.4	0.85	15.9	0.88
	22	16.8	0.76	17.2	0.78	17.7	0.80
第2试验区	12(伐前)	11.3	0.95	11.6	0.97	11.6	0.97
	12(伐后)	11.3	0.95	12.2	1.02	12.1	1.01
	14	12.5	0.89	12.9	0.92	13.0	0.93
	19	13.9	0.73	14.2	0.75	14.5	0.76

### 3.2 间伐对胸径生长的影响

林木直径生长与密度相关,密度越大,林分平均胸径越小。不同间伐处理林分平均胸径调查结果显示:间伐处理林分平均胸径大于对照,且随着间伐强度增大而增加。第1试验区强度间伐和中度间伐处理22年生林分平均胸径分别为22.3、21.5 cm,比对照增加13.78%和9.69%(表3)。第1次间伐后至第2次间伐前(1997—2004年),强度间伐的平均

胸径生长量达6.2 cm,比中度间伐和对照增加10.71%和12.73%,有利于加快培育大径级林木。第2次间伐后8 a,强度间伐、中度间伐和对照的平均胸径生长量分别为2.7、2.6、2.1 cm,强度间伐和中度间伐比对照增加28.57%和23.81%。第2试验区19年生林分强度间伐和中度间伐的平均胸径分别为19.2、18.3 cm,比对照增加12.28%和7.02%。

表3 不同间伐处理的杉木人工林林分平均胸径生长状况

试验区	林龄/a	对照			中度间伐			强度间伐		
		平均胸径/cm	平均生长量/(cm·a <sup>-1</sup> )	保存密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均胸径/cm	平均生长量/(cm·a <sup>-1</sup> )	保存密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	平均胸径/cm	平均生长量/(cm·a <sup>-1</sup> )	保存密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
第1试验区	7(伐前)	11.2	1.60	2 610	11.3	1.61	2 530	11.3	1.61	2 570
	7(伐后)	11.2	1.60	2 610	12.5	1.79	2 040	12.6	1.80	1 725
	9	14.1	1.57	2 550	15.2	1.69	2 010	15.7	1.74	1 725
	14(伐前)	16.7	1.19	2 476	18.1	1.29	1 995	18.8	1.34	1 680
	14(伐后)	17.5	1.25	2 104	18.9	1.35	1 682	19.6	1.40	1 384
	16	18.0	1.12	2 062	19.5	1.22	1 597	20.2	1.26	1 365
	17	18.1	1.01	2 062	19.8	1.10	1 576	20.4	1.13	1 365
	22	19.6	0.89	1 985	21.5	0.98	1 530	22.3	1.00	1 334
第2试验区	12(伐前)	13.9	1.16	2 640	14.0	1.16	2 745	14.0	1.16	2 617
	12(伐后)	13.9	1.16	2 640	14.9	1.24	2 055	15.1	1.26	1 673
	14	14.9	1.06	2 617	16.0	1.14	2 055	16.4	1.17	1 658
	19	17.1	0.90	2 415	18.3	0.96	1 965	19.2	1.01	1 658

不同间伐处理林木胸径径级株数分布均呈正态分布( $P < 0.05$ ),但不同间伐处理之间具有较大差异。第1试验区22年生林分单位面积胸径20 cm以下林木株数分布以对照最高,其次为中度间伐,强度间伐较低;20~22 cm径级对照林分株数逐渐降低,中度间伐和强度间伐株数增加,以中度间伐最高;22 cm以上径级林木株数分布,则以强度间伐最高,其次为中度间伐,对照最低(图1A)。总体上,随

着间伐强度增加,林木胸径径级株数分布曲线向右偏移1~2个径级,这种趋势随间伐强度增加而增大。第2试验区19年生林分3种间伐处理下林木胸径在18~20 cm径级的株数均达到最大,其中以对照最高,其次为强度间伐,中度间伐株数相对较少;胸径18 cm以下林木株数随间伐强度变化趋势与第1试验区类似(图1B),胸径20 cm以上林木株数强度间伐和中度间伐高于对照。间伐主要降低了胸

径 20 cm 以下径级林木的株数,而增大了胸径 20 cm 以上径级林木的数量。由此可见,间伐对林木直径

的空间分布具有重要影响。

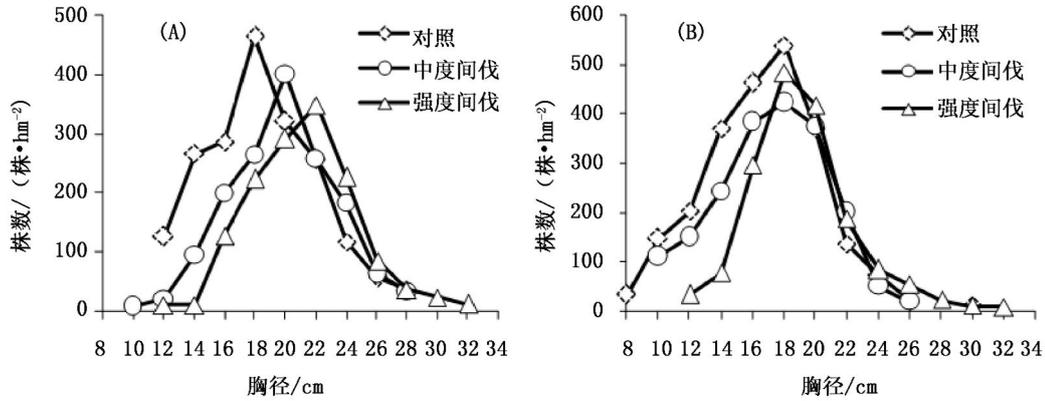


图 1 不同间伐处理杉木人工林林分林木胸径径级株数分布

### 3.3 间伐对胸高断面积生长的影响

对不同间伐处理林分胸高断面积生长动态的分析表明:保留木断面积在不同生长阶段大小顺序均为对照 > 中度间伐 > 强度间伐(表 4),这种差异主要是间伐处理减少了林木株数所致。第 1 试验区 22 年生林分中度间伐和强度间伐保留木断面积分别为对照的 94.17% 和 88.71%,不同间伐处理之间没有显著差异( $P > 0.05$ )。林分总断面积的大小与保留木断面积变化趋势一致,总断面积在 3 种间伐处理

之间没有显著差异( $P > 0.05$ )。第 2 试验区不同间伐处理之间 19 年生林分保留木的断面积和总断面积变化规律与第 1 试验区一致,且林分总断面积基本相同。这说明间伐并不能显著增加林分总断面积。从理论上讲,通过间伐调整林分密度,可以使保留木断面积不降低。本试验中,间伐处理的保留木断面积低于对照,可能与间伐强度的设置和观测年限有关。

表 4 不同间伐处理杉木人工林林分胸高断面积生长状况

试验区	间伐处理	林龄/a							间伐及枯损断面积 / ( $\text{m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ )			总断面积 / ( $\text{m}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	
		7	9	12	14	16	17	19	22	第 1 次间伐	第 2 次间伐		枯损
第 1 试验区	对照	26.38	39.42		54.32	54.61	55.73		60.38	0.00	5.07	2.76	68.21
	中度间伐	24.31	36.45		49.90	49.72	51.30		56.86	3.00	5.60	2.06	67.52
	强度间伐	20.98	33.71		47.47	44.90	45.99		53.56	4.87	6.35	0.86	65.63
第 2 试验区	对照			40.35	45.33			55.70				3.94	59.64
	中度间伐			36.02	41.26			51.67			6.17	1.75	59.59
	强度间伐			29.95	35.19			48.20			10.16	0.30	58.66

### 3.4 间伐对材积生长的影响

活立木单株材积在不同间伐处理之间具有较大差异。从表 5 可以看出:平均单株材积在不同生长阶段大小顺序均为强度间伐 > 中度间伐 > 对照,林木定期生长量也有类似变化规律。第 1 试验区 22 年生杉木强度间伐和中度间伐林木平均单株材积分别比对照增加 33.84% 和 21.25%,且强度间伐显著高于对照( $P < 0.05$ ),中度间伐单株材积与对照和强度间伐之间的差异不显著( $P > 0.05$ )。在第 1 次间伐期末,强度间伐和中度间伐处理单株材积生长

量分别比对照增加了 33.62% 和 15.15%;第 2 次间伐后 8 a,强度间伐和中度间伐处理单株材积生长量分别比对照增加了 45.04% 和 28.41%。第 2 试验区 19 年生杉木强度间伐和中度间伐平均单株材积分别比对照增加 29.46% 和 15.59%,材积生长量分别比对照增加 39.18% 和 9.12%。由此可见,间伐可以显著促进林木单株材积的增长,这主要受益于林木个体获得较大的生长和营养空间,同时也与间伐提高了保留木的遗传品质有关。

表5 不同间伐处理杉木人工林单株材积生长量

试验区	林龄/a	对照		中度间伐		强度间伐	
		单株材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ )	定期生长量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ )	单株材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ )	定期生长量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ )	单株材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ )	定期生长量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{株}^{-1}$ )
第1试验区	7(伐后)	0.045 7		0.056 5		0.062 4	
	9	0.097 1	0.051 4	0.119 9	0.063 4	0.130 5	0.068 1
	14(伐前)	0.163 2	0.066 1	0.191 8	0.071 8	0.219 4	0.088 9
	14(伐后)	0.184 8		0.218 3		0.238 3	
	16	0.199 0	0.014 2	0.237 8	0.019 5	0.258 4	0.020 1
	17	0.207 7	0.008 7	0.252 4	0.014 6	0.272 8	0.014 3
	22	0.265 4	0.057 7	0.321 8	0.069 4	0.355 2	0.082 5
第2试验区	12(伐后)	0.101 0		0.121 5		0.123 6	
	14	0.123 1	0.022 1	0.144 8	0.023 3	0.153 3	0.029 7
	19	0.174 5	0.051 4	0.201 7	0.056 9	0.225 9	0.072 6

注:定期生长量为相邻两次观测数据的差值。

不同间伐处理林分活立木材积的多次调查表明:第1试验区随着间伐强度增大,林分活立木材积和总蓄积量(活立木材积+间伐材积+枯损材积)逐渐降低(表6)。22年生林分强度间伐和中度间伐活立木材积分别为对照的90.69%和94.17%,但与对照之间的差异不显著( $P > 0.05$ )。22年生林分强度间伐和中度间伐总蓄积量略低于对照,3种间伐处理之间总蓄积量的差异不显著( $P > 0.05$ )。第2试验区19年生林分活立木材积随着间伐强度增大而降低,林分总蓄积量(活立木材积+间伐材积+枯损材积)以中度间伐最大。强度间伐和中度间伐林分活立木材积分别为对照的90.89%和95.73%,且对照显著高于强度间伐( $P < 0.05$ ),中度间伐与对照和强度间伐之间没有显著差异( $P > 0.05$ )。尽管间伐增加了林木的单株材积,由于林木株数减少,导

致林分活立木材积随着间伐强度增大而降低。在一定立地条件和合理间伐强度下,如果延长观测年限,生长空间得以充分利用,活立木材积也不会下降。

第1试验区在第1次间伐期末,强度间伐和中度间伐处理林分活立木材积增长量分别为对照的91.62%和93.88%,林分蓄积量增长量分别为对照的100.99%和98.68%;第2次间伐后8a,强度间伐和中度间伐处理林分活立木材积增长量分别为对照的97.25%和98.08%,林分蓄积量增长量分别为对照的96.00%和100.12%。这表明在第1间伐期,间伐明显降低了林分活立木材积的增长,而在第2间伐期,间伐对活立木材积生长的影响相对较小;间伐强度对林分总蓄积量增长量在2次间伐期内均没有显著影响。

表6 不同间伐处理杉木人工林林分蓄积量变化

试验区	林龄/a	对照			中度间伐			强度间伐		
		活立木材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	枯损木材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总蓄积量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	活立木材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	枯损木材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总蓄积量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	活立木材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	枯损木材积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总蓄积量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )
第1试验区	7(伐后)	119.277		119.277	115.260		115.260	107.640		107.640
	9	247.605	1.051	248.655	240.999	1.706	257.249	225.113		248.873
	14(伐前)	404.083	2.913	406.996	382.641	1.815	399.169	368.592	3.653	398.224
	14(伐后)	371.631		404.083	344.068		382.641	327.097		368.592
	16	410.338	3.055	445.846	379.767	3.052	421.392	352.716		394.211
	17	428.277	5.962	466.692	397.782		436.356	372.372	3.885	417.752
	22	522.819	6.231	561.503	492.354	9.327	540.254	474.126	4.091	519.712
第2试验区	12(伐后)	243.611		243.611	224.250		259.882	191.254		246.233
	14	297.305	2.332	300.633	276.022		311.655	222.005	1.893	278.874
	19	391.652	24.871	416.525	374.935	13.031	423.592	355.958		410.931

从表6还可以看出:枯损木材积占活立木材积的比例,随着间伐强度的增大而下降。整个研究期,

第1试验区强度间伐、中度间伐和对照总枯损木材积占22年生林分活立木材积的比例分别为2.45%、

3.23%和3.67%,第2试验区强度间伐、中度间伐和对照总枯损木材积占19年生林分活立木材积的比例分别为0.53%、3.48%和6.95%。由此可见,间伐可减少木材损失,促进资源利用。

### 3.5 间伐对出材量及出材规格的影响

对不同间伐强度各径级原条材积及其比例的研究表明:第1试验区随着间伐强度增加,最大材积所在径级增加1个径级,对照最大材积出现在18~20 cm径级(占总材积的22.79%),中度间伐为20~22 cm径级(占总材积的26.80%),强度间伐为22~24 cm径级(占总材积的25.48%)(表7)。不同间伐处理大径材(平均胸径 $\geq 26$  cm)比例大小为强

度间伐(17.34%)>中度间伐(10.97%)>对照(9.37%),中径材(16 cm $\leq$ 平均胸径<26 cm)比例大小为中度间伐(85.84%)>强度间伐(82.35%)>对照(81.10%),小径材(平均胸径<16 cm)比例大小为对照(9.53%)>中度间伐(3.19%)>强度间伐(0.31%)。第2试验区强度间伐大径材、中径材、小径材比例分别为6.11%、87.38%和6.51%,中度间伐为1.04%、74.70%和24.26%,对照为1.46%、69.25%和29.29%。由此可见,强度间伐主要增加了中径材、大径材比例,显著降低了小径材数量;中度间伐主要增加了中径材的比例。因此,间伐对提高木材规格具有重要作用。

表7 不同间伐处理杉木人工林林分原条材积按径级的分布

试验区	径级/cm	对照		中度间伐		强度间伐	
		原条材积/( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	比例/%	原条材积/( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	比例/%	原条材积/( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )	比例/%
第1试验区	10			0.352	0.09		
	12	11.467	2.80	1.386	0.36		
	14	27.534	6.73	10.580	2.74	1.159	0.31
	16	49.877	12.20	29.373	7.60	20.011	5.34
	18	93.173	22.79	55.095	14.26	39.842	10.62
	20	78.904	19.30	103.591	26.80	73.537	19.61
	22	70.428	17.23	77.157	19.96	95.543	25.48
	24	39.154	9.58	66.544	17.22	79.892	21.30
	26	22.943	5.61	27.261	7.05	32.232	8.59
	28	15.364	3.76	15.159	3.92	15.488	4.13
	30					10.955	2.92
	32					6.375	1.70
	合计		408.844	100.00	386.498	100.00	375.034
第2试验区	8	2.529	0.85				
	10	15.187	5.11	13.586	4.74		
	12	23.598	7.95	20.708	7.23	5.362	1.94
	14	45.676	15.38	35.208	12.29	12.669	4.57
	16	58.074	19.56	56.753	19.82	49.482	17.86
	18	68.280	22.99	63.031	22.01	81.172	29.30
	20	47.244	15.91	56.092	19.59	70.540	25.47
	22	17.545	5.91	30.350	10.60	31.611	11.41
	24	14.501	4.88	7.680	2.68	9.254	3.34
	26	2.790	0.94	2.968	1.04	9.297	3.36
	28					3.947	1.43
	30	1.552	0.52			1.975	0.71
	32					1.694	0.61
合计		296.976	100.00	286.376	100.00	277.003	100.00

不同间伐处理不同林龄林分出材量的组成见表8。第1试验区整个观测期内,除第1次间伐后2 a即9年生外,强度间伐和中度间伐处理活立木出材量和林分总出材量均小于对照。第1次间伐期末,强度间伐和中度间伐活立木出材量分别为对照的91.69%和95.06%,强度间伐和中度间伐总出材量

为对照的95.88%和97.70%,三者之间没有显著差异。第2次间伐后8 a,强度间伐和中度间伐活立木出材量占对照的比例分别为91.73%和94.53%;林分总出材量分别为对照的93.44%和94.78%。尤其是间伐后4~8 a(第17~22年),强度间伐和中度间伐年均活立木出材量占对照的比例分别为

111.46%和100.82%。可见,2次间伐有利于提高保留木出材量,尤其是强度间伐更为明显。随着观测年限的延长,强度间伐和中度间伐的活立木出材量和总出材量将接近或超过对照。第2试验区19年生林分强度间伐和中度间伐的活立木出材量分别

为对照的92.31%和96.36%,而林分总出材量中度间伐略高于对照,强度间伐与对照接近,活立木出材量和总出材量在不同间伐处理之间的差异均不显著( $P>0.05$ )。这表明,在杉木中径材培育过程中,1次中度间伐有利于增加林分总出材量。

表8 不同间伐处理杉木人工林林分出材量组成

试验区	林龄/a	对照		中度间伐				强度间伐					
		活立木/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	出材 率/%	间伐木/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总出材量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	活立木/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	出材 率/%	间伐木/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总出材量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	活立木/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	出材 率/%	间伐木/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )	总出材量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ )
第1试验区	7(伐后)	81.705	68.5		81.705	83.102	72.1	8.222	91.324	77.716	72.2	13.069	90.785
	9	182.237	73.6		182.237	182.436	75.7	8.222	190.658	171.311	76.1	13.069	184.380
	14(伐前)	311.952	77.2		311.952	296.547	77.5	8.222	304.769	286.027	77.6	13.069	299.096
	14(伐后)	287.642	77.4	26.756	314.398	266.997	77.6	26.351	293.348	255.136	78.0	31.995	287.131
	16	319.243	77.8	26.756	345.999	296.218	78.0	26.351	322.569	275.471	78.1	31.995	307.466
	17	333.628	77.9	26.756	360.384	310.668	78.1	26.351	337.019	291.195	78.2	31.995	323.190
	22	408.844	78.2	26.756	435.600	386.498	78.5	26.351	412.849	375.034	79.1	31.995	407.029
第2试验区	12(伐后)	179.297	73.6		179.297	165.945	74.0	26.010	191.955	141.908	74.2	37.135	179.043
	14	222.380	74.8	1.678	224.058	207.567	75.2	26.010	233.577	167.610	75.5	37.135	204.745
	19	300.004	76.6	17.202	317.206	289.071	77.1	33.485	322.556	276.929	77.8	37.135	314.064

#### 4 结论与讨论

对浙江开化2次间伐的22年生杉木人工林和1次间伐的19年生杉木人工林的研究结果表明,强度间伐和中度间伐平均树高大于对照,但不同间伐处理间树高的差异不显著;间伐显著增加了林木胸径的生长,这与已有的多数研究结论一致<sup>[2,5-7]</sup>。林分树高生长取决于种苗的遗传品质和立地质量及其相互作用,与密度关系不大。间伐减少了保留木的株数,增加了林木营养空间,因而促进了林木胸径生长。

林分断面积是评价林分生长的重要指标。本研究表明,2组试验随着间伐强度增加保留木断面积逐渐降低,这种差异随着林龄增大而减小,22年生和19年生林分保留木断面积和林分总断面积在3种间伐处理之间的差异均不显著。张水松等<sup>[2]</sup>研究表明,杉木林间伐20a后不同间伐处理之间林分总断面积差异不显著。孙洪刚等<sup>[8]</sup>对26年生杉木密度试验林进行多次间伐后的结果也证实,经过足够长的时间,林分断面积最终趋于一致,与是否间伐无关;而落叶松(*Larix olgensis* Henry) + 云杉(*Abies nephrolepis* Maxim.) + 冷杉(*Picea jazoensis* Carr.)混交林间伐12a后,林分断面积随着间伐强度的增大而显著增加<sup>[9]</sup>。这种差异可能

与林分类型有关。

间伐促进了单株树木胸径和树高的生长,因而也增加了单株材积。经2次间伐的22年生杉木林分强度间伐和中度间伐总蓄积量略低于对照,1次间伐的19年生杉木林总蓄积量以中度间伐最高,但2组试验3种间伐处理之间总蓄积量的差异都不显著。其它对杉木<sup>[2]</sup>、马尾松<sup>[10]</sup>、落叶松 + 云杉 + 冷杉混交林<sup>[5]</sup>、欧洲赤松(*P. sylvestris* L.)<sup>[6]</sup>、比利牛斯栎(*Quercus pyrenaica* Willd.)<sup>[7]</sup>等的抚育间伐试验也得出类似结论。此外,Knoebol等<sup>[11]</sup>对美国鹅掌楸(*Liriodendron tulivifera* L.)不同强度间伐试验表明,间伐会减少蓄积量,而吴际友等<sup>[12]</sup>认为抚育间伐会增加湿地松(*P. elliotii* Engelm.)林分的蓄积量。可见,间伐增加了保留木生长空间,促进林木生长,但也使单位面积立木株数减少。因此,间伐对林分总蓄积量的影响取决于上述2种效应的相对大小<sup>[13]</sup>,另外可能与树种、立地条件、间伐方式、轮伐期等有关。

2组间伐试验均增加了中径材、大径材比例,提高了林分质量。2次间伐的22年生杉木林分和1次间伐的19年生林分活立木出材量随着间伐强度增加而减小,2种间伐方式林分活立木出材量和总出材量在不同间伐处理之间的差异均不显著。张水松等<sup>[2]</sup>对杉木林间伐(1次间伐)试验表明,林分大径

材材积及其比例随着间伐强度增大而显著增加,不同间伐强度林分中径材材积的差异不显著,林分总出材量在不同间伐处理之间也没有显著差异。Zhang 等<sup>[14]</sup>对间伐 34 a 的北美短叶松(*P. banksiana* Lamb.) 研究发现,强度间伐出材量比对照增加 75%,中度间伐和弱度间伐与对照没有显著差异。本研究中第 1 试验区第 2 次间伐后,强度间伐年均(第 17~22 年)活立木出材量比对照增加 11.46%,表明只要设置适当的轮伐期,强度间伐处理的出材量会进一步增加。因此,这些研究结果并不能说明在杉木大径材培育过程中间伐次数对杉木出材量没有显著影响。

间伐起始期直接关系到抚育间伐的效果,生产上通常用连年生长量急剧下降作为确定首次间伐的主要指标,但立地条件对胸径连年生长量高峰出现时间的早晚有重要影响。间伐间隔期的长短与林分所处立地条件、前次间伐强度大小、林分间伐后恢复能力等因素密切相关。当胸径连年生长量重新开始下降,或当林分郁闭度恢复到 0.9 以上时进行第 2 次间伐。根据上述原则,本研究中第 1 试验区 2 次间伐时间分别定为第 7 年和第 14 年。这与汪传佳<sup>[16]</sup>在该地区的研究结果基本一致。第 2 试验区根据生产实际一般在林木培育中期进行 1 次间伐,间伐时间为第 10~12 年。

通过上述研究,可以明确,在本试验条件下间伐强度不能有效增加林分活立木材积和林分出材量,间伐次数对林分出材量及出材规格有重要影响。在杉木大径材培育过程中,当立地指数为 18 m,初植密度为 3 000 株·hm<sup>-2</sup>,进行 2 次间伐(第 1 次 7 a 左右,第 2 次间隔 6~7 a),总间伐强度保持在 50% 左右,最终保存密度 1 200~1 450 株·hm<sup>-2</sup>较为适宜,建议轮伐期 25 a 以上;而在中径材培育时,当立地指数为 16 m,初植密度 3 000 株·hm<sup>-2</sup>,则以 1 次中度间伐(第 10~12 年,间伐强度 25%),最终保存密度 1 800~2 000 株·hm<sup>-2</sup>为宜,建议轮伐期 20 a 以上。

## 参考文献:

- [1] 李春明,杜纪山,张会儒. 抚育间伐对森林生长的影响及其模型研究[J]. 林业科学研究,2003, 16(5):636-641
- [2] 张水松,陈长发,吴克选,等. 杉木林间伐强度材种出材量和经济效果的研究[J]. 林业科学,2006, 42(7):37-46
- [3] 李林. 浙江省开化县林场杉木立木材积表编制方法研究[D]. 北京:北京林业大学,2011
- [4] 刘景芳,董书振,陈孝,等. 杉木原条出材量(率)表的编制研究[J]. 林业科学研究,1995,8(4):402-407
- [5] Lei X D, Lu Y C, Peng C H, et al. Growth and structure development of semi-natural larch-spruce-fir (*Larix olgensis-Picea jezoensis-Abies nephrolepis*) forests in northeast China: 12-year results after thinning [J]. Forest Ecology and Management, 2007, 240(1-3):165-177
- [6] Montero G, Cañellas I, Ortega C, et al. Results from a thinning experiment in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) natural regeneration stand in the Sistema Ibérico Mountain Range (Spain) [J]. Forest Ecology and Management, 2001, 145(1-2):151-161
- [7] Cañellas I, Río M D, Roig S, et al. Growth response to thinning in *Quercus pyrenaica* Willd. coppice stands in Spanish central mountain [J]. Annals of Forest Science, 2004, 61(3):243-250
- [8] 孙洪刚,张建国,段爱国,等. 杉木密度间伐试验林林分断面面积生长效应[J]. 林业科学研究,2010, 23(1):6-12
- [9] 雷相东,陆元昌,张会儒,等. 抚育间伐对落叶松云冷杉混交林的影响[J]. 林业科学,2005, 41(4):78-85
- [10] 林少华. 马尾松抚育间伐强度效应试验[J]. 林业调查规划, 2006, 31(1):9-10
- [11] Knoebel B C, Burkhart H E, Beck D E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar [J]. Forest Science, 1986, 32(2):27, 62
- [12] 吴际友,龙应忠,董云平. 湿地松人工林间伐效果初步研究 [J]. 林业科学研究,1995, 8(6):630-633
- [13] 王慧,郭晋平. 我国森林抚育间伐研究进展[J]. 山西林业科技,2008(2):29-33
- [14] Zhang S Y, Chauret G, Swift D E, et al. Effects of precommercial thinning on tree growth and lumber quality in a jack pine stand in New Brunswick, Canada [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2006, 36(4):945-952
- [15] 周国模. 杉木人工林主伐年龄的研究[J]. 浙江林学院学报, 1991, 8(3):295-299
- [16] 汪传佳. 杉木定量抚育间伐技术研究[J]. 林业科技通讯, 1998(1):7-9