

一次间伐对速生桉树大径材增长影响及经济效益分析

欧阳林男¹, 兰俊², 陈少雄^{1*}, 张磊², 吴志华¹, 何沙娥¹, 张程¹, 陈沫¹

(1. 国家林业和草原局桉树研究开发中心, 广东 湛江 524022; 2. 广西国有东门林场, 广西 扶绥 532108)

摘要: 通过监测不同间伐强度桉树人工林的不同材种生长情况, 探讨不同间伐强度下桉树人工林的经济效益, 为桉树大径材培育经营提供参数。通过分析 2008 年设立于广西东门林场的桉树人工林 7 种间伐强度(200、300、400、500、600、700、800 株 hm^{-2})和不间伐对照(1 250 株 hm^{-2})12 年的生长数据, 以及第 12 年 566 株样木伐倒后大径材(锯材, 尾径 >16 cm), 中径材(旋切板材, 尾径 8 ~ 16 cm), 小径材(纸浆材, 尾径 4 ~ 8 cm)三个径阶的段木长度数据, 计算了连年生长量、平均生长量、材种出材量、净现值和内部收益率。结果表明: 间伐 3.5 年后, 大径材出材总量和总增长量最大的均为间伐保留 800 株 hm^{-2} , 大径材出材总量和总增长量分别达 376.33 和 152.44 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$, 比对照分别提高 5.59% 和 10.48%, 大径材总增长率最大的是间伐保留 400 株 hm^{-2} , 达 87.27%, 比对照提高 38.15%; 间伐保留 200、300、400、500、600、700、800 株 hm^{-2} 和对照 1 667 株 hm^{-2} 的第二轮轮伐期分别为 13、13、12.5、11.5、11.5、11、11 和 8.5 年, 这时的净现值分别是 65 933、69 220、65 743、75 343、80 103、77 737、78 847 和 70 830 元 hm^{-2} , 内部收益率分别为 37%、35%、34%、36%、37%、38%、38% 和 44%。林分数量成熟时, 间伐保留 600 株 hm^{-2} 净现值最高, 比对照增加 13.09%, 是 7 种间伐强度中经济效益最好的, 其他净现值大小顺序是间伐保留 800、700、500、300、200、400 株 hm^{-2} 。

关键词: 桉树; 大径材; 间伐; 蓄积生长量; 经济效益
中图分类号: S753 文献标志码: A

Economic Analysis of Eucalypt Sawn Log Production in Once Thinned Plantations

OUYANG Linnan¹, LAN Jun², CHEN Shaoxiong¹, ZHANG Lei²,

WU Zhihua¹, HE Shae¹, ZHANG Cheng¹, CHEN Mo¹

(1. China Eucalypt Research Centre, Zhanjiang 524022, Guangdong, China;
2. Guangxi State-owned Dongmen Forest Farm, Fusui 532108, Guangxi, China)

Abstract: Monitoring the growth of *Eucalyptus* plantations with different thinning intensities provided the basis for examination and discussion of the economic benefits of such plantations. For this study a thinning trial with 7 thinning intensities (200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 trees hm^{-2}) and also a control treatment(1 250 tree hm^{-2}) was established at Guangxi State-owned Dongmen Forest Farm in 2008. Growth data was collected from this trial up to age 12 years, as well as log segment length data of 566 felled sample trees with three diameter classes, including: large-diameter logs (saw logs, small end diameters >16 cm), middle-diameter logs (rotary veneer logs, small end diameters 8 ~ 16 cm) and small-diameter logs (pulp/fiber logs, small end diameters 4 ~ 8 cm). This data was used to calculate CAIs, MAIs, volumes by size classes, NPVs and IRRs. At 3.5 years after thinning, thinning down to 800 trees hm^{-2} provided the highest yield of large diameter logs at 152.4 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$ from a total volume of 376.3 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$, which represented increases relative to the control of 10.5% and 5.6% respectively. The highest growth rate of saw log volume was obtained at 400 trees hm^{-2} (after thinning), with 38.2% and 87.3% more than the control respectively. The

基金项目: 国家重点研发计划课题“桉树大径材定向培育技术”(2016YFD0600502)、广东省林业科技创新重点项目“桉树大径材与林下经济培育技术研究” (2019KJCX005)、湛江桉树培育国家长期科研基地运行补助(2020132509)

作者简介: 欧阳林男(1990—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事桉树培育研究, E-mail:ouyanglinnan0208@163.com

*通信作者: 陈少雄(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事桉树培育和经营研究, E-mail:sxchen01@163.com

second harvest rotations of 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 and 1 250 trees hm^{-2} retained in thinning were 13, 13, 12.5, 11.5, 11.5, 11, 11 and 8.5 years respectively and these provided NPVs of 65 933, 69 220, 65 743, 75 343, 80 103, 77 737, 78 847 and 70 830 RMB hm^{-2} respectively, and IRRs of 37%, 35%, 34%, 36%, 37%, 38%, 38% and 44% respectively. The thinning intensity that left 600 trees hm^{-2} provided the highest NPV and economic benefit among the 7 thinning treatments, with the order of the other treatments by NPV (from highest to lowest) being 800, 700, 500, 300, 200 and 400 trees hm^{-2} .

Key words: *Eucalyptus*; sawn log; thinning; stand volume; economic benefit

抚育间伐是人工林经营过程中的一种重要手段,在一定程度上能改变林分结构和功能^[1-2]。早在 20 世纪 60 年代,英国就通过间伐抚育来提高杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和松树(*Pinus*)人工林的营林利润,维持树木健康^[3]。有学者指出,在合适的立地条件下,早期间伐能消除树冠发育的不规则性,刺激剩余树木生长^[4-5]。

桉树(*Eucalyptus*)的间伐研究于 20 世纪 70 年代在南非、津巴布韦等地开展^[6]。此后,对桉树间伐的报道也多数集中于树木生理和森林生态系统方面的影响,如间伐能显著提高桉树林分的径流量,提高地下水位,增强水源涵养能力^[7]。间伐后,桉树大径材具有更大的水力传导性和更高的叶面积与边材面积之比,利于资源获取和生长率提高^[8-9]。间伐能提高树冠的光合速率,增大叶片氮和磷的浓度^[10]。对桉树人工林进行间伐通常是为了培育用作锯木、单板原木或传输线杆的大径材桉树^[11]。直至 2003 年起,SOARES 等^[12]和 CASSIDY 等^[13]开始报道间伐能较大地提高桉树人工林的经济收益。

随着社会经济的发展和天然林保护工程的实施,世界各国对木材的需求不断增加,对大径材的需求也日益增强,桉树因其速生性和优良的材性^[14]成为培育高质量大径材的优良树种^[15-16]。对我国而言,充分利用我国南部充足的水热条件,短期内培育速生优质大径材,是解决我国大径材资源短缺的有效途径^[17]。我国桉树大径材的发展目前还处于起步阶段^[18-19]。2008 年,陈少雄等^[20]报道了经济收益最高的桉树人工林初植密度,张金文^[17]提出了经济效益最大的桉树人工林二次间伐强度。之后的学者仅针对不同轮伐期^[21]、不同林龄的桉树人工林^[22]报道了经济效益差异。而结合间伐效应,对桉树大径材分径阶来衡量其经济价值的研究报道甚少。为此,本研究选用 2008 年营造的尾

巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)优良无性系林分,在 12 年经营中开展间伐试验,通过径阶分为锯材、旋切板和纸浆材,探讨不同间伐强度下桉树人工林的经济效益。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广西东门林场华侨分场 24 林班(22°35'N, 107°87'E),年平均气温为 21.2 ~ 22.3℃,极端最高气温 38 ~ 41℃,极端最低气温-0.1 ~ 1.9℃,年均降水量为 1 000 ~ 1 300 mm,土壤为砖红壤,土层厚度为 100 cm。前作为尾巨桉。试验地海拔 135 ~ 157 m,向南坡,坡度 2.3 ~ 6.5°。机耕全垦整地,开垦深度 30 ~ 35 cm,苗木为无性系(DH32-28)扦插苗,苗高 15 ~ 25 cm,以钙镁磷作基肥,1 000 g 株⁻¹。于 2008 年 5 月定植,2 个月后施追肥,追肥 N、P、K 的施用量分别为 110、85、55 g 株⁻¹;施用的 N 肥为含 N 46% 的尿素, P 肥为含 P 18% 的钙镁磷肥, K 肥为含 K 60% 的 KCl。追肥方法为在距离树基 20 cm 处挖掘 15 cm 见方的小穴,施完 3 种肥之后再盖土。第二次追肥在定植后第 3 年,追肥施用量和追肥方法与定植当年第一次追肥相同。在林龄为 8.5 年时进行间伐,间伐后 5 个月进行追肥,追肥 N、P、K 的施用量分别为 220、170、110 g 株⁻¹,使用的肥料与间伐前的相同,间伐后每年追肥一次,共计经营 12 年,至 2020 年 7 月,将小区样木全伐倒进行每木测量。

1.2 试验设计、间伐与观测

试验林于 2008 年定植,株行距 2 m × 4 m,密度为 1 250 株 hm^{-2} 。生长 8.5 年后对试验地进行每木调查,随后开展间伐试验,采用完全随机区组设置标准地共 24 块,每块标准地面积为 0.04 hm^2 ,间伐强

度分别编号为1、2、3、4、5、6、7和对照,分别指间伐后保留200、300、400、500、600、700、800和1250株 hm^{-2} 。每个间伐处理重复3次,共有样木566株。间伐前,对标准地进行每木检尺、编号,并用油漆把间伐林木作上记号,然后进行间伐施工。间伐采用下层疏伐法,按照去小留大,去劣留优和适当均匀的原则。间伐后,逐年对各标准地进行每木胸径、树高测量,持续3.5年。

1.3 伐木施工和统计

2020年7月,将24个标准地的所有立木566株全部伐倒,测量立木底部直径,根据市场对不同规格材的需求,对伐木分三种规格(原木尾径 $>16\text{ cm}$ 、 $8\sim 16\text{ cm}$ 、 $4\sim 8\text{ cm}$)木材产品进行测量和统计,所对应的产品分别为锯材、胶合板材和纸浆纤维材,分段测量木材长度,计算各木材产品的出材量。

1.4 计算方法和依据

1.4.1 营林成本

营林成本主要包括:(1)机耕整地,2700元 hm^{-2} ;(2)基肥(包括肥料和施工),钙镁磷肥1000g株 $^{-1}$,基肥成本为4167.5元 hm^{-2} ;(3)造林(包括苗木、运输及定植),1200元 hm^{-2} ;(4)间伐之前每年追肥,1042元 hm^{-2} ;(5)间伐之后每年追肥,上述从1至7号间伐强度和不同间伐对照的追肥费用分别为250、375、500、625、750、875、1000和2084元 hm^{-2} ;(6)抚育,2250元 hm^{-2} 。

1.4.2 数量成熟年龄计算

当林分连年生长量等于年平均生长量时,达到数量成熟年龄,即达到轮伐期^[13]。本研究使用林分单株材积和林分蓄积公式计算得出从间伐实施当年开始直到全伐期间林分的逐年林分蓄积量,再计算得出林分连年生长量和年均生长量,通过作图分析获得林分数量成熟年龄。

单株材积的计算公式采用平均实验形数法^[13]:

$$V=f \times G_{1.3} \times (H+3) \quad (1)$$

式中, V 为材积(m^3); f 为桉树实验形数,取0.4^[23]; $G_{1.3}$ 为胸高断面面积(m^2); H 为树高(m)。

林分蓄积为各标准地内所有立木单株材积之和,换算为每公顷蓄积量($\text{m}^3\text{ hm}^{-2}$)。

林分连年生长量等于当年林分蓄积减去前一年

林分蓄积的差值,林分年平均生长量为当年林分蓄积除以当年林龄所得值。

1.4.3 单株和林分出材量计算

根据测量所得的566株样木底部直径、各径阶的木材长度、胸径和树高,使用圆锥体积公式分别计算出 $>16\text{ cm}$ 、 $8\sim 16\text{ cm}$ 、 $4\sim 8\text{ cm}$ 三个径阶的段木体积,作为不同径阶出材量数据。利用计算得到的556份径阶出材量数据,结合样木胸径和树高测量值,利用DataFit 9.0软件模拟出各径阶的出材公式,见式(2)至式(4),以此来模拟计算间伐当年(8.5年)、伐后1年(9.5年)、伐后2年(10.5年)、伐后3年(11.5年)各径阶的间伐收获出材和全部采伐出材量。

$$Y_1=0.812+0.125 \times H-0.006 \times H^2+0.00008 \times H^3-0.316 \times D_{1.3}+0.017 \times D_{1.3}^2-0.0002 \times D_{1.3}^3 \quad (2)$$

$$Y_2=1.496-0.363 \times H+0.03 \times H^2-0.001 \times H^3+0.00002 \times H^4-1.709 \times H^5+0.042 \times D_{1.3}-0.002 \times D_{1.3}^2+0.00003 \times D_{1.3}^3 \quad (3)$$

$$Y_3=0.017 \times H^{1.495} \times D_{1.3}^{-1.833} \quad (4)$$

$$Y_4=Y_1+Y_2+Y_3 \quad (5)$$

式中, Y_1 、 Y_2 、 Y_3 分别为 $\geq 16\text{ cm}$ 、 $8\sim 16\text{ cm}$ 、 $4\sim 8\text{ cm}$ 径阶段木的出材量(m^3), Y_4 为单株立木的出材量(m^3), $D_{1.3}$ 为胸径(cm), H 为树高(m)。

1.4.4 木材销售价格

砍伐当年的木材市场价格:(1)大径材(锯材),尾径 $>16\text{ cm}$ 并且长度 $\geq 2\text{ m}$,价格1000元 m^3 ;(2)中径材(旋切板材),尾径范围为 $8\sim 16\text{ cm}$,长度 $\geq 2\text{ m}$,价格500元 m^3 ;(3)小径材(纸浆材),尾径 $4\sim 8\text{ cm}$,长度 $\geq 2\text{ m}$,价格250元 m^3 。

1.4.5 采伐成本

采伐成本包括砍伐人工费80元 m^3 ,运输等费用30元 m^3 。

1.4.6 净现值

净现值指逐年收益值的总和减去逐年开支现值的总和^[13]。净现值如为正值,代表的是除去开支后的利润;如为负值,营林所得收益将不够偿还成本。

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (6)$$

式中, NPV 指净现值, C_t 指在周期 t 内的净现金流量, n 指包括的年数, i 指贴现率(林业取12%^[13])。

1.4.7 内部收益率

内部收益率指当贴现率能使一项设计净现值等于零时的内部收益率^[13]。

$$\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (7)$$

式中, IRR 为内部收益率, 其他同公式(6)。

2 结果与分析

2.1 不同间伐处理对单株材积和林分蓄积的影响

在 7 种参试间伐强度中, 立木单株材积随着间伐强度的减弱, 即随林分密度的增大而减小, 因此, 间

伐可明显提高立木单株材积生长量; 但林分蓄积的大小还是主要取决于林分密度的高低, 间伐 3.5 年之内, 间伐强度越大, 林分蓄积量越小, 尽管密度低的林分单株平均胸径大, 但由于株数少, 也造成了林分总蓄积的减少(表 1)。根据方差分析结果(表 2), 8.5 年生间伐前的林分蓄积在各处理间无显著差异, 间伐后 3.5 年之内, 各间伐强度之间的林分蓄积量的差距均达到极显著水平。伐后 3.5 年之内, 不同间伐强度与不间伐对照的蓄积差距随林龄增长的变化规律不同, 间伐强度 1、2 和 3 与不间伐对照的蓄积差值逐年增大, 间伐强度 4 与对照的蓄积差值先增大后减小, 而间伐强度 5、6 和 7 与对照的蓄积差值逐年减小。

表 1 7 种间伐强度的林分单株材积和蓄积生长过程

间伐强度	单株材积/m ³					林分蓄积(m ³ hm ⁻²)				
	8.5 年间伐前	9.5 年	10.5 年	11.5 年	12 年	8.5 年间伐前	9.5 年	10.5 年	11.5 年	12 年
1	0.19	0.59	0.67	0.74	0.78	308.47	117.23	134.25	147.74	155.43
2	0.19	0.52	0.60	0.66	0.69	315.54	156.68	178.67	197.45	208.25
3	0.18	0.46	0.53	0.58	0.60	298.66	185.72	210.11	231.38	241.98
4	0.19	0.46	0.52	0.57	0.59	316.49	231.29	259.77	282.9	296.05
5	0.20	0.44	0.50	0.54	0.57	338.48	261.79	298.85	323.29	339.35
6	0.18	0.43	0.48	0.51	0.53	305.98	298.33	334.41	360.14	374.49
7	0.20	0.38	0.43	0.47	0.49	325.77	307.17	346.9	372.06	390.17
对照	0.19	0.21	0.23	0.25	0.25	319.11	350.67	384.54	410.68	423.35

表 2 7 种间伐强度蓄积生长量差异显著性逐年分析

项目	变异源	平方和	自由度	平均值平方	F 值	P 值
8.5 年间伐前	间伐强度间	3 601.031	7	514.433	0.611	0.739
	剩余	15 145.958	18	841.442		
	合计	18 746.989	25			
9.5 年	间伐强度间	137 496.228	7	19 642.318	32.822	0.000*
	剩余	10 772.176	18	598.454		
	合计	148 268.403	25			
10.5 年	间伐强度间	164 547.564	7	23 506.795	32.674	0.000*
	剩余	12 949.777	18	719.432		
	合计	177 497.340	25			
11.5 年	间伐强度间	179 883.805	7	25 697.686	33.834	0.000*
	剩余	13 671.507	18	759.528		
	合计	193 555.312	25			
12 年	间伐强度间	190 876.110	7	27 268.016	35.334	0.000*
	剩余	13 891.136	18	771.730		
	合计	204 767.247	25			

注: *表示平均值差异在 0.05 水平显著。

2.2 数量成熟

图 1 显示, 间伐强度 1(200 株 hm^{-2})和 2(300 株 hm^{-2})的数量成熟年龄均为第 13 年, 间伐强度 3(400 株 hm^{-2})为第 12.5 年, 间伐强度 4(500 株 hm^{-2})和 5(600 株 hm^{-2})均为第 11.5 年, 间伐强度 6(700 株 hm^{-2})和 7(800 株 hm^{-2})均为 11 年, 不间伐对照 (1 250 株 hm^{-2})为第 8.5 年。与不间伐对照相比, 试验采取的间伐抚育措施能将林分数量成熟的年龄延长了 2.5 ~ 4.5 年, 间伐强度越大, 数量成熟年龄延长越多。

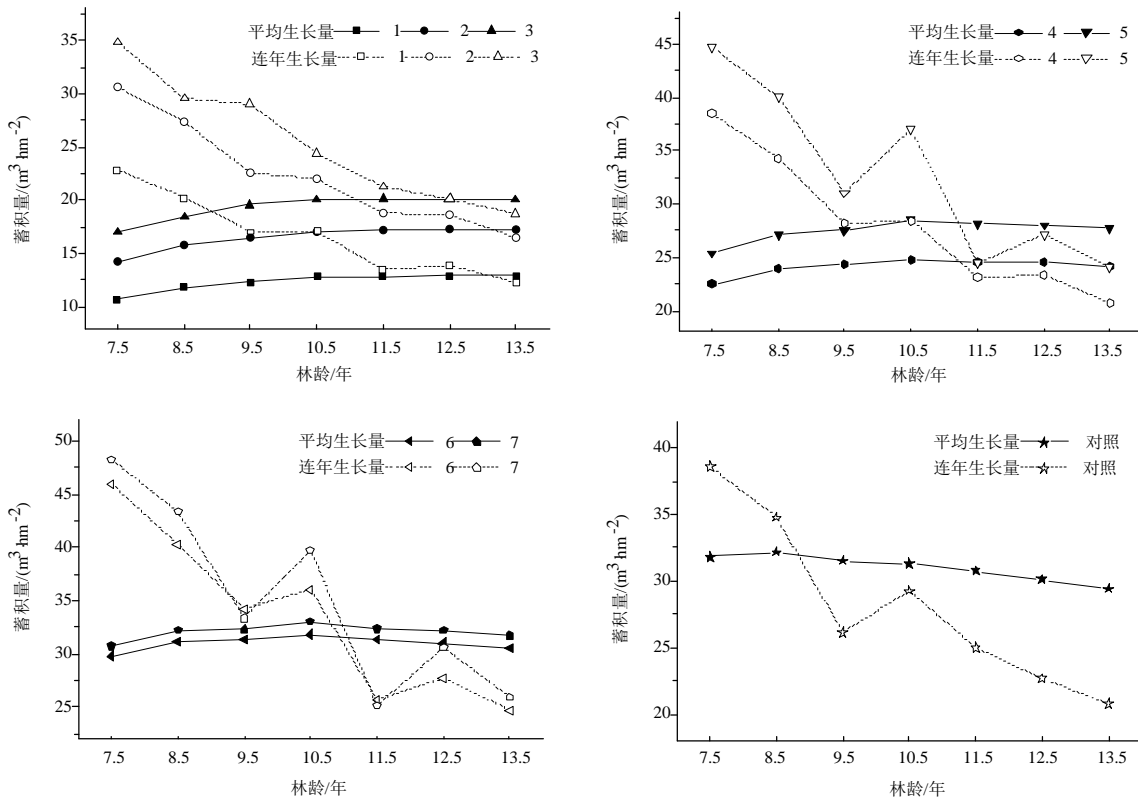


图 1 7 种间伐强度和不同间伐对照连年与平均生长量

2.3 不同间伐处理对林分大径材出材量、增长率的影响

表 3 为伐后 3.5 年期间, 不同间伐强度对尾径 >16 cm 的大径材(锯材)出材量和增长率的影响。基本结论是: (1)大径材出材总量。不同间伐处理在间伐 3.5 年生后大径材间伐+主伐出材总量的排名为间伐强度 7>5>6>对照, 大径材间伐+主伐出材量分别为 376.33、370.90、368.77 和 356.40 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$; 比对照总量分别提高 5.59%、4.07%和 3.47%; 其他间伐处理的间伐+主伐大径材出材总量均小于对照。(2)大径材的增长量。年增长量都是在间伐 1 年后开始大幅增加; 第 2 年增长量达到峰值; 第 3 年增长量又开始大幅下滑, 第 3 年比第 1 年的增加幅度还小一些。不同间伐处理在伐后 3.5 年生长期间大径材

增加总量的排名为间伐强度 7>5>6>对照, 大径材增加量分别为 152.44、150.06、145.11 和 137.98 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$, 比对照分别提高 10.48%、8.75%和 5.17%; 其他间伐处理的大径材的增长总量都小于对照。(3)大径材的增长率。间伐后的第 1 年, 间伐强度 1、2、3、4 的大径材增长率就达到了最大值, 分别为 19.51%、22.14%、27.35%和 20.61%, 都明显高于对照的 17.23%; 间伐后的第 2 年, 间伐强度 5、6、7 和对照的大径材增长率也达到了最大值, 分别为 23.75%、19.32%、21.29%和 18.74%; 不同间伐处理在伐后 3.5 年期间大径材总增长率的排名为间伐强度 3>2>5>4>7>1>6, 大径材增长率分别为 87.27%、80.83%、79.19%、73.97%、73.16%、65.73%和 65.65%, 所有间伐处理的大径材总增长率均大于对照 63.17%。

增加总量的排名为间伐强度 7>5>6>对照, 大径材增加量分别为 152.44、150.06、145.11 和 137.98 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$, 比对照分别提高 10.48%、8.75%和 5.17%; 其他间伐处理的大径材的增长总量都小于对照。(3)大径材的增长率。间伐后的第 1 年, 间伐强度 1、2、3、4 的大径材增长率就达到了最大值, 分别为 19.51%、22.14%、27.35%和 20.61%, 都明显高于对照的 17.23%; 间伐后的第 2 年, 间伐强度 5、6、7 和对照的大径材增长率也达到了最大值, 分别为 23.75%、19.32%、21.29%和 18.74%; 不同间伐处理在伐后 3.5 年期间大径材总增长率的排名为间伐强度 3>2>5>4>7>1>6, 大径材增长率分别为 87.27%、80.83%、79.19%、73.97%、73.16%、65.73%和 65.65%, 所有间伐处理的大径材总增长率均大于对照 63.17%。

表 3 7 种间伐强度和不同伐对照尾径>16 cm 木材的出材量、增长量和增长率

间伐强度	8.5 年			9.5 年			10.5 年			11.5 年			12 年			合计		
	间伐出材量	主伐出材量	增长量	主伐出材量	增长量	增长率	主伐出材量	增长量	增长率	主伐出材量	增长量	增长率	主伐出材量	增长量	增长率	主伐出材量	增长量	增长率
1	112.50	101.93	19.51	121.82	19.89	19.51	144.50	22.68	18.62	160.85	16.35	11.31	168.93	8.08	5.02	281.43	8.08	65.73
2	87.14	125.97	22.14	153.86	27.89	22.14	186.63	32.77	21.30	213.21	26.58	14.24	227.79	14.58	6.84	314.93	14.58	80.83
3	57.66	136.21	27.35	173.46	37.25	27.35	210.21	36.75	21.19	237.93	27.72	13.19	255.08	17.15	7.21	312.74	17.15	87.27
4	42.71	174.65	20.61	210.64	35.99	20.61	252.44	41.80	19.84	285.39	32.95	13.05	303.83	18.44	6.46	346.54	18.44	73.97
5	31.34	189.50	21.60	230.44	40.94	21.60	285.16	54.72	23.75	319.06	33.90	11.89	339.56	20.5	6.43	370.90	20.5	79.19
6	2.62	221.04	18.23	261.34	40.30	18.23	311.83	50.49	19.32	345.88	34.05	10.92	366.15	20.27	5.86	368.77	20.27	65.65
7	15.52	208.37	19.33	248.64	40.27	19.33	301.58	52.94	21.29	334.99	33.41	11.08	360.81	25.82	7.71	376.33	25.82	73.16
对照	0.00	218.42	17.23	256.06	37.64	17.23	304.05	47.99	18.74	337.39	33.34	10.97	356.40	19.01	5.63	356.40	19.01	63.17

注：出材量、增长量、增长率单位分别为 $m^3 \text{ hm}^{-2}$ 、 $m^3 \text{ hm}^{-2}$ 、%。

表 4 7 种间伐强度和不同伐对照每年的营林成本

间伐强度	林龄及措施												元 hm^{-2}
	0(整地+基肥)	1 年(造林+追肥+抚育)	2 年(抚育)	3 年(追肥+抚育)	4 年(抚育)	5 年(抚育)	6 年(抚育)	7 年(抚育)	8.5 年(间伐+追肥+抚育)	9.5 年(追肥+抚育)	10.5 年(追肥+抚育)	11.5 年(追肥+抚育)	
1	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 500	2 500	2 500
2	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 625	2 625	2 625
3	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 750	2 750	2 750
4	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 875	2 875	2 875
5	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	3 000	3 000	3 000
6	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	3 125	3 125	3 125
7	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	3 250	3 250	3 250
对照	6 868	4 492	2 250	3 292	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	2 250	4 334	4 334	4 334

2.4 经济效益分析

2.4.1 营林成本与销售收入

营林成本主要是指从造林当年开始至 12 年的

整地、基肥、追肥、抚育和间伐等费用; 销售收入指间伐收益和采伐(主伐)后的销售额减去采伐成本、运输等成本后的毛利润(表 4 ~ 5)。

表 5 7 种间伐强度和不间伐对照分年采伐减去销售成本后的毛利润 元 hm^{-2}

间伐强度	8.5 年间伐+ 8.5 年主伐	8.5 年间伐+ 9.5 年主伐	8.5 年间伐+ 10.5 年主伐	8.5 年间伐+ 11.5 年主伐	8.5 年间伐+ 12 年主伐
1	270 905	288 787	308 357	322 432	329 393
2	266 918	292 401	320 691	343 570	356 023
3	245 976	279 446	310 945	334 826	349 463
4	265 566	297 968	334 288	362 876	378 753
5	271 809	308 149	355 456	384 862	402 388
6	262 565	299 421	343 613	373 422	390 851
7	262 809	299 597	346 069	375 432	397 714
对照	248 932	283 486	325 903	355 196	371 473

2.4.2 净现值

7 种间伐强度和不间伐对照在 8.5 年生采伐时, 都有 60 000 ~ 75 000 元 hm^{-2} 的利润; 9.5 年时(伐后 1 年)各间伐强度下的林分利润开始增大, 间伐强度 5(600 株 hm^{-2})的利润最高, 间伐强度 7(800 株 hm^{-2})次之; 在 10.5 年时(伐后 2 年)所有间伐强度和不间伐对照林分利润均出现一个最高峰, 利润达最大,

这时间伐强度 1 ~ 7 的利润在 70 000 ~ 85 000 元 hm^{-2} , 同样以间伐强度 5 的利润最高, 达 82 029 元 hm^{-2} , 间伐强度 7(800 株 hm^{-2})和 6(700 株 hm^{-2})次之, 间伐强度 3(400 株 hm^{-2})的利润仍最小; 10.5 ~ 12 年期间, 所有间伐强度和不间伐对照林分的利润均逐渐下降, 11.5 年以后不间伐对照林分的利润最小, 且利润下降最明显(图 2)。

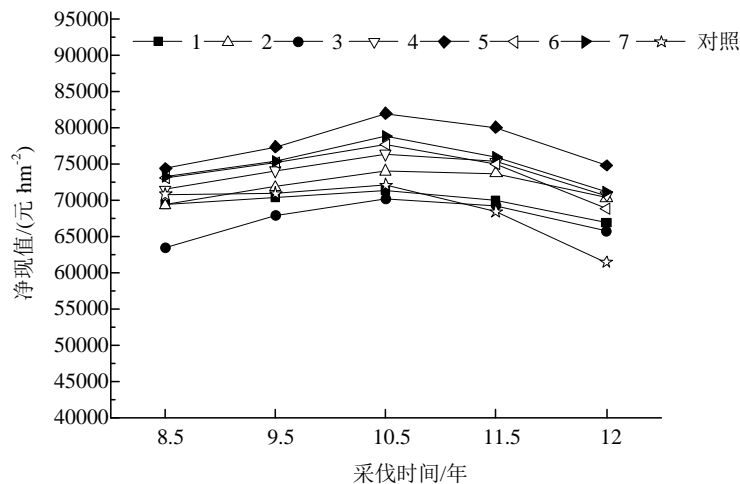


图 2 7 种间伐强度和不间伐对照各年度净现值

2.4.3 内部收益率

图 3 为 7 种间伐强度和不间伐对照的林分内部收益率。各间伐强度的内部收益率均在 8.5 年时达到最高, 然后逐年降低, 体现了尾巨桉在 8.5 年时

的速生性, 其中间伐强度 5(600 株 hm^{-2})的内部收益率最高, 达 45%, 其次为间伐强度 7(800 株 hm^{-2})。到 9 年(伐后 0.5 年)时, 间伐强度 1、2、4、6 和 7, 以及间伐强度 3 和不间伐对照的内部收益率有一个

明显的交叉点,说明这时的内部收益率相等;9~12年,各间伐强度的内部收益率逐渐拉大差距,不间伐对照的内部收益率变为最低,并呈现出间伐强度越大内部收益率越高的趋势,间伐效应显现;12年

时,间伐强度 1(200 株 hm^{-2})的内部收益率仍有 37%。间伐强度 1~7 内部收益率 8.5~12 年均超过 30%,不间伐对照在 12 年最低,也超过 29%,而杉木人工林至轮伐期时的内部收益率均低于 25%^[24]。

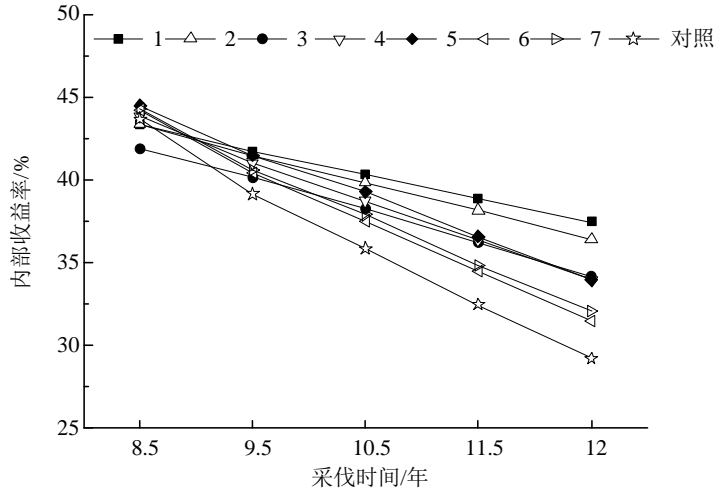


图3 7种间伐强度和不同伐对照的内部收益率

3 讨论

3.1 林分生长量

3.1.1 7种间伐强度蓄积生长差距

间伐后7种间伐强度蓄积生长量为间伐强度越大,蓄积量越小。但不同间伐强度与不间伐对照的蓄积差距变化规律在伐后开始改变,间伐保留200、300和400株 hm^{-2} 与不间伐对照的蓄积差值逐年增大,而间伐保留600、700和800株 hm^{-2} 与对照的蓄积差值逐年减小,呈现出随时间延长,保留600、700和800株 hm^{-2} 这3种间伐强度的蓄积量积累速度超过不间伐林分的趋势,体现出林分在一定强度间伐后的生长优势。有研究报道,间伐后桉树大径材具有更大的水力传导性和更高的叶面积与边材面积之比,利于资源获取和生长率提高^[25]。适当的间伐强度能刺激林木生长,提高林分的生物量蓄积能力和林分结构稳定性^[26-27]。

3.1.2 7种间伐强度的数量成熟年龄

间伐保留200和300株 hm^{-2} 的林分数量成熟年龄均为13年,间伐保留400株 hm^{-2} 为12.5年,间伐保留500和600株 hm^{-2} 均为11.5年,间伐保留700株 hm^{-2} 和800株 hm^{-2} 为11年,不间伐1250

株 hm^{-2} 为第8.5年。CASSIDY等^[13]研究得出初植密度1667株 hm^{-2} 的尾巨桉人工林的数量成熟年龄为6年。说明达到第一轮数量成熟年龄之后,间伐能使林分出现第二轮的数量成熟年龄,在第二轮数量成熟过程中,与不间伐对照相比,间伐可延长林分数量成熟年龄2.5~4.5年,间伐强度越大,数量成熟年龄延长越多。间伐能通过提高水源涵养能力,增强树冠光合作用等生理过程来刺激树木生长^[5,8]。本研究第二轮数量成熟年龄的出现也充分显示出间伐对林分生长潜力的激发效应。

3.1.3 7种间伐强度的大径材出材量和增长率

间伐3.5年后,大径材间伐+主伐出材总量最大的是间伐保留800株 hm^{-2} ,达376.33 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$,比对照提高5.59%;伐后3.5年,大径材的总增长量最大的是间伐保留800株 hm^{-2} ,达152.44 $\text{m}^3 \text{hm}^{-2}$,比对照提高10.48%;伐后3.5年,大径材的总增长率最大的是间伐保留400株 hm^{-2} ,达87.27%,比对照提高38.15%。可以看出,不同间伐强度对大径材出材总量、总增长量、总增长率大小的影响规律不同。研究结果还发现,不同间伐强度下,大径材的增长量和增长率在伐后2年内均达到峰值,说明伐后2年短期内对林分生长潜力的激发效应最强,这种激发效应随林龄增长有所减弱。

3.2 经济效益

3.2.1 材种出材

桉树木材的价格随径阶的增大而增大,各间伐强度下材种出材量的多少直接影响着林分经济效益的高低。总体上,不间伐林分的蓄积生长量比大部分间伐林分高,但不间伐林分主要是小径材(纸浆材)和中径材(旋切板材)的出材比例高,而大径材(锯材)的出材比例小,因此,不间伐林分的经济效益并不高。间伐虽然在早期普遍降低了林分蓄积生长量,但大径材(锯材)的出材比例高,且随林龄的增加,间伐强度较低的林分蓄积量积累速度优于不间伐对照,因此,经济效益相对更高。

3.2.2 净现值

7种间伐强度在8.5年生采伐时,均有60 000~75 000元 hm^{-2} 的利润。9.5~12年,间伐保留600株 hm^{-2} 的利润一直保持最高,为最佳的间伐强度,其次为间伐保留800株 hm^{-2} 和700株 hm^{-2} 。虽然间伐强度越高,大径材(锯材)的出材比例越高,但此时的林分密度小、蓄积小,利润并不能达到最大,因此使林分的经济效益最大化需要同时考虑林分大径材的出材率和林分蓄积两个因素,二者的综合效益最显著时才能使间伐对林分效益的提高作用发挥到最大程度,此时的间伐强度也最合适。10.5年时(伐后2年),绝大部分间伐强度林分利润出现一个最高峰,此时利润最大,经济效益最高。

3.2.3 内部收益率

各间伐强度林分的内部收益率在8.5年时达到最高值,间伐保留600株 hm^{-2} 的内部收益率最高,达45%,此后逐年降低。9年(伐后0.5年),间伐保留200株 hm^{-2} 、300株 hm^{-2} 、500株 hm^{-2} 、700株 hm^{-2} 和800株 hm^{-2} 的内部收益率有一个明显的交叉点,此时内部收益率相等。9~12年,各间伐强度内部收益率差距逐渐拉大,间伐强度越大,内部收益率越高,9.5年时,间伐保留200株 hm^{-2} 的内部收益率升为各间伐强度中最大,达42%,此后一直保持内部收益率最大,间伐对增大林分内部收益率效果明显。

4 结论

间伐3.5年后,大径材出材总量和总增长量最大的均为间伐保留800株 hm^{-2} ,大径材出材总量和总增长量分别达376.33和152.44 m^3hm^{-2} ,比对照分别提高5.59%和10.48%。大径材总增长率最大的是间伐保留400株 hm^{-2} ,达87.27%,比对照提高38.15%。间伐保留200、300、400、500、600株 hm^{-2} 、700、800株 hm^{-2} 和不间伐对照1250株 hm^{-2} 间伐后的第二轮数量成熟年龄分别为13、13、12.5、11.5、11.5、11、11、8.5年,这时的净现值分别是65 933、69 220、65 743、75 343、80 103、77 737、78 847、70 830元 hm^{-2} 。林分数量成熟时,间伐保留600株 hm^{-2} 的净现值最高,比对照增加13.09%,是7种间伐强度中经济效益最好的间伐强度,其他净现值的大小顺序是间伐保留800、700、500、300、200、400株 hm^{-2} 。

参考文献

- [1] 余碧云,张文辉.间伐强度对阴、阳坡栓皮栎林木生长及干形的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(1):73-80.
- [2] 李明雨,党坤良,马俊,等.间伐对华山松天然次生林光合特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2015,43(7):66-73.
- [3] MATTHEWS J D. Some Applications of Genetics and Physiology in Thinning[J].Forestry,1963,36(2):172-180.
- [4] DAY W R. Biological Aspects of Thinning in Conifer Plantations[J].Forestry,1966,39(2):191-212.
- [5] ALVARO A V S, HELIO G L, JOVANE P C, et al. Development of stand structural heterogeneity and growth dominance in thinned *Eucalyptus* stands in Brazil[J]. Forest Ecology and Management,2017, 384:339-346.
- [6] COETZEE J, SCHONAU A P G. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations[J]. Forest Ecology and Management,1989,29:245-266.
- [7] STONEMAN G L. Hydrological response to thinning a small jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest catchment[J].

- Journal of Hydrology,1993,150:393-407.
- [8] MEDHURST J L, BEADLE C L. Sapwood hydraulic conductivity and leaf area - Sapwood area relationships following thinning of a *Eucalyptus nitens* plantation[J]. Plant, Cell and Environment, 2002, 25:1011-1019.
- [9] GEOFF W B, ANDREW M, BEN F, et al. The influence of different restoration thinning treatments on tree growth in a depleted forest system[J].Forest Ecology and Management, 2019,437:10-16.
- [10] MEDHURET J L, BEADLE C L. Photosynthetic capacity and foliar nitrogen distribution in *Eucalyptus nitens* is altered by high-intensity thinning[J].Tree Physiology, 2005, 25:981-991.
- [11] SCHONAU A P G, COETZEE J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations[J].Forest Ecology and Management,1989,29(4):245-266.
- [12] SOARES T S, SILVA M L D, GAMA J R V, et al. Economic evaluation of *Eucalyptus* stands submitted to thinning[J].Revista Arvore,2003,27(4):481-486.
- [13] CASSIDY M, PALMER G, GLENCROSS K, et al. Stocking and intensity of thinning affect log size and value in *Eucalyptus pilularis*[J]. Forest Ecology and Management,2012,264:220-227.
- [14] MALAN F S. The wood properties and sawn board quality of the *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* hybrid[J].Southern African Forestry Journal,2000,188(1):29-35.
- [15] BEADLE C, VOLKER P, BIRD T, et al. Solid-wood production from temperate eucalypt plantations:a Tasmanian case study[J].Southern Forests: a Journal of forest Science,2008,70(1):45-57.
- [16] SEDJO R A. The potential of high-yield plantation forestry for meeting timber needs[J]. New Forests,1999, 17(1/3):339-359.
- [17] 张金文.巨尾桉大径材间伐试验研究[J].林业科学研究,2008,21(4):464-468.
- [18] 何沙娥,欧阳林男,朱林生,等.桉树大径材培育技术研究概述[J].桉树科技,2018,35(1):37-43.
- [19] 陈少雄,郑嘉琪,刘学锋.中国桉树培育技术百年发展与展望[J].世界林业研究,2018,31(2):7-12.
- [20] 陈少雄,李志辉,李天会,等.不同初植密度的桉树人工林经济效益分析[J].林业科学研究,2008,21(1):1-6.
- [21] 卢婵江,周晓果,黄冰川,等.不同轮伐期巨尾桉人工林的经济效益分析[J].广西科学,2018,25(2):158-162.
- [22] 施福军,龙敏,秦武明,等.15年生桉树中大径材人工林生长规律与经济效益分析[J].山西农业科学,2019,47(7): 1272-1276.
- [23] 盛炜彤.不同密度杉木人工林林下植被发育与演替的定位研究[J].林业科学研究,2001,14(5):463-471.
- [24] 盛炜彤,惠刚盈,张守攻,等.杉木人工林优化栽培模式[M].北京:中国科学技术出版社,2004.
- [25] DAVID I F, JOHN J C, CHRISTOPHER L B, et al. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on light interception and light-use efficiency in a young *Eucalyptus nitens* plantation[J].Forest Ecology and Management,2013,288:21-30.
- [26] 高集美.桉树抚育间伐强度效应分析[J].河北林业科技,2010(1):20-21.
- [27] 许晓东,刘丽婷,邓海燕,等.桉树人工林抚育间伐调控技术研究[J].中南林业科技大学学报,2019,39(4):52-58.