

轮伐中期间伐对湿加松采脂前后生长的影响^{*}

黄 婷¹ 王 哲² 司徒荣贵¹ 赵奋成²
邓乐平¹ 吴惠珊² 谭志强¹ 郭文冰²

(1. 台山市红岭种子园, 广东 江门 529223; 2. 广东省森林培育与保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要 抚育间伐是以促进森林生长、提高林木质量为目的的林分经营管理手段。研究选取 10 年生湿加松 *Pinus elliottii* × *P. caribaea*, 采取间伐 3% 断面积和间伐 10% 断面积的间伐强度与对照进行对比试验, 结果显示间伐 3 年内, 树高和胸径的增量间伐区显著高于对照区 ($P < 0.05$)。间伐第 4 年开始割脂, 自然稀疏现象严重, 间伐后 7 年的胸径增量已不存在显著差异, 而树高增量仍存在显著差异。随着间伐强度的加大, 大径材的比例也会升高。间伐之后, 树冠形态更快稳定, 且林分冠长率峰值向更小的方向偏移。间伐 3% 断面积与间伐 10% 断面积的冠幅大于 3.5 m 的比例明显多于对照, 说明间伐有利于冠幅的发育。间伐后 2 年内, 林分密度大小排序为对照 > 间伐 3% 断面积 > 间伐 10% 断面积, 第 3 年开始对照林分密度大幅减少, 与间伐 3% 断面积的林分间差异不显著, 7 年后 3 个处理的林分达到相似的密度。与对照相比, 轻度的下层疏伐不会降低总体林分蓄积量。综合木材、产脂收益以及间伐成本, 间伐 3% 断面积处理更适合培育脂材兼用林。

关键词 林分管理; 林分密度; 间伐; 自然稀疏; 湿加松

中图分类号: S791.24 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2021) 03-0001-07

The Effect of Thinning during the Mid-rotation Period on the Growth of *Pinus elliottii* × *P. caribaea*

HUANG Ting¹ WANG Zhe² SITU Ronggui¹ ZHAO Fencheng²
DENG Leping¹ WU Huishan² TAN Zhiqiang¹ GUO Wenbing²

(1. Hongling Seed Orchard, Taishan, Guangdong 529223, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/ Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract Tending thinning is a forest stand management method aimed at promoting forest growth and improving forest quality. In this study, we selected 10-year-old *Pinus elliottii* × *P. caribaea* forest to take the thinning intensity of 3% basal area (D2) and 10% basal area (D3) of thinning to compare with the control (D1). The results showed that within 3 years of thinning, the incremental ratios of tree height and diameter at breast height were significantly higher in the thinning area than in the control area. The resin tapping began in the fourth year of thinning, and the phenomenon of natural sparseness was serious. There was no difference in the incremental ratio in diameter at breast height 7 years after thinning, but there was still a significant difference in tree height. As the intensity of thinning increases, the proportion of large-diameter timber would also increase. After thinning, the crown morphology stabilized faster, and the peak of stand crown rate shifts to a smaller direction. The ratio of crown widths

^{*} 基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFD0600502)。

第一作者: 黄婷 (1982—), 女, 工程师, 主要从事林木育种、种子园营建与管理, E-mail: tsshlzzy@126.com。

通信作者: 郭文冰 (1981—), 女, 研究员, 主要从事松树良种选育与人工林培育研究, E-mail: wbguo@sinogaf.cn。

greater than 3.5 m on thinning intensity of 3% basal area and thinning intensity of 10% basal area was significantly higher than that of control, indicating that thinning was beneficial to the development of crown width. Within 2 years after thinning, the order of stand density was control > thinning intensity of 3% basal area > thinning intensity of 10% basal area. From the third year, the stand density of control decreased significantly, and there was no significant difference with thinning intensity of 3% basal area. After 7 years, the stand density of the three treatments reached a similar density. Compared with the control, the slight thinning from below did not reduce the overall stand volume. Combining timber, resin production benefits and thinning costs, thinning intensity of 3% basal area treatment was more suitable for cultivating resin-wood dual-use forests.

Key words forest management; stand density; thinning; naturally sparse; *Pinus elliottii* × *P. caribaea*

抚育间伐是林分经营管理的重要手段,是影响已建成林分生长发育的关键因素^[1]。影响间伐效果的主要因素包括间伐所采用的形式、间伐的强度,以及间伐的林龄和次数^[2]。间伐形式主要包括上层疏伐、下层疏伐、干扰树疏伐和机械疏伐等^[3]。不同报道中,疏伐对林分蓄积量、单株生长的影响存在较大差异。前人提出,小树的生长潜力相对高于大树,上层疏伐可增加林分总体的产量^[4],但可能降低了林分生长率^[5]。另有研究表明,轻度和中等疏伐强度可促进胸径增长,且胸径增长随着间伐强度增大而增大^[6]。挪威云杉 *Picea abies* 轻度间伐后蓄积量与对照差别不大,只有重度疏伐(移除60%~70%断面积)时,蓄积量减少^[7]。但 Nilsson 等^[5]的结果表明,欧洲赤松 *Pinus sylvestris* 疏伐处理减少了总蓄积量。轮伐中期对火炬松 *Pinus taeda* 林分进行不同强度的疏伐,疏伐6年后,单株胸径与胸径增长高于对照,而断面积、蓄积量与蓄积量增长等低于对照^[8]。以上研究结果表明疏伐可以促进单株的生长,而林分的蓄积量会因树种、疏伐强度不同而效果不同。

湿加松 *Pinus elliottii* × *P. caribaea* 是我国南方重要的材脂兼用工业原料林树种^[9-11],林分密度控制是材脂兼用林经营的重要技术措施^[12-13]。但对松树采脂前后间伐的必要性鲜见报道,不利于材脂兼用林的集约化管理。本研究对广东台山湿加松人工林设置两个强度的下层疏伐试验,经过7年的观测,确定疏伐对采脂前后生长的影响,为材脂兼用林高效培育提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广东省江门市台山红岭种子园,

北纬 22°10', 东经 112°49', 海拔 30 m。年平均气温约 22 °C, 年均降水量约 1 808 mm。土壤为花岗岩分化的酸性红壤,前茬树种为桉树。湿加松林分含 6 个良种家系,于 2000 年春季造林,株行距为 3 m × 3 m,造林时每株施 250 g 过磷酸钙 [w (P₂O₅) = 12%] 作为基肥。

1.2 试验设计

试验采用主区为随机完全区组的裂区设计,在不同坡位设置 6 个区组,主区包括 3 种密度:对照 (D1)、间伐 3% 断面积 (D2) 和间伐 10% 断面积 (D3) (表 1),副区包括施肥 (500 g N₁₅P₁₅K₁₅ 复合肥) 与不施肥两个处理。为了设置较为均匀的小区,部分施肥小区在密度处理内重复 2 次,试验共包含 48 个块状小区,每个小区 30 m × 30 m。2010 年 8 月中旬,采用下层疏伐的方法对样地进行抚育间伐,主要伐除长势较差、胸径相对较小的林木个体。试验林人工除杂后,每株沿滴水线挖一个弧形施肥沟,均匀将化肥按设计量施入后覆土。

2014—2017 年对 12 cm 胸径以上单株进行全林强度割脂。

1.3 数据获取

2010 年疏伐前、2011 年 11 月、2012 年 11 月、2013 年 11 月、2017 年 11 月对试验林分进行每株检尺,用常规方法测量胸径 (dbh) 和冠幅;用超声波测高测距仪 (Haglöf Vertex IV, 瑞典) 测量树高 *H* 和枝下高,用二者差值计算冠长 *cl*; 2017 年末测量枝下高。树高、胸径增量为调查当年的树高、胸径与间伐当年树高、胸径的差值。林分密度 *SD* 为每公顷保留活立木的株数。间伐后保存率特指每个小区调查当年存活株数与 2010 年疏伐后保留活立木株数的比值。

表 1 湿加松两种间伐强度处理与对照信息

Table 1 The information of two kinds of thinning intensity treatment and control of *Pinus elliottii* × *P. caribaea*

间伐处理 Thinning treatment	断面积 / (m ² · hm ⁻²) Basal area	蓄积量 / (m ³ · hm ⁻²) Stand volume	伐除断面积 / (m ² · hm ⁻²) Basal area of thinning	伐除蓄积量 / (m ³ · hm ⁻²) Stand volume of thinning	断面积伐除比例 /% Thinning ratio of basal area	蓄积量伐除比例 /% Thinning ratio of stand volume
D1	21.83 ± 1.19	122.73 ± 10.77				
D2	22.11 ± 1.26	122.56 ± 10.28	0.66 ± 0.21	3.06 ± 0.87	3.0 ± 0.4	2.5 ± 0.3
D3	21.75 ± 0.85	119.63 ± 0.85	2.18 ± 0.44	9.96 ± 2.42	10.0 ± 1.1	8.3 ± 1.1

注：数值为均值 ± 标准误。

Note: values are mean ± standard error.

单株材积 (V)、断面积 (BA)、蓄积量 (VOL)、冠长率 (CR) 计算采用以下公式^[14]，式中 n 为调查范围内的种植株数，由于每公顷种植密度为 1 110 株，因此以 1 110 与 n 的比值换算每公顷的断面积、蓄积量：

单株材积 $V(\text{m}^3)$ 用计算式： $V = f \times \frac{\pi}{4} \times H \times dbh^2$ ，

式中 π 为圆周率， f 为形数，取 0.5。

断面积 $BA(\text{m}^2 \cdot \text{hm}^{-2})$ 用计算式：

$$BA = \frac{\sum_i^n \left(\frac{\pi}{4} \times dbh_i^2 \right)}{n} \times 1\,110, \text{ 式中 } \pi \text{ 为圆周率。}$$

蓄积量 $VOL(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$ 用计算式：

$$VOL = \frac{\sum_i^n V}{n} \times 1\,110, \text{ 式中 } V \text{ 为单株材积。}$$

冠长率 CR 用计算式：

$$CR = \frac{cl}{H}, \text{ 式中 } cl \text{ 为冠长。}$$

1.4 统计分析

利用 SAS 9.4 进行数据分析。树高、胸径、树高增量、胸径增量、间伐后保存率的分析采用 Mixed 程序^[15]，混合模型中密度效应、施肥效应、密度与施肥的互作效应为固定效应，区组以及区组与密度的互作效应为随机效应。由于施肥对生长无显著影响，后续分析中移除施肥、密度与施肥的互作项。采用 LSMEANS 语句估算各年度密度的平均值，采用 Tukey 进行多重比较分析。林分密度、断面积、蓄积量、蓄积量增量采用 GLM 程序，分析密度的作用效应；采用 MEAN 语句计算不同密度的平均值。采用 univariate 程序以及 histogram 语句绘制胸径、冠幅、冠长率的直方图，

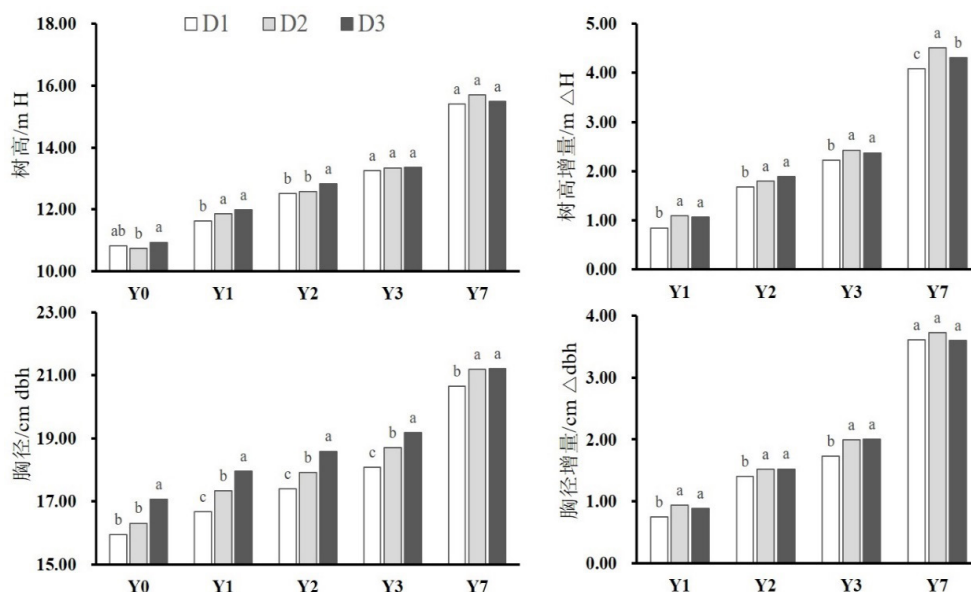
拟合威布尔 (Weibull) 分布曲线。

2 结果与分析

2.1 间伐后林分密度对单株生长的影响

由于 2010 年 D2 与 D3 处理选择性移除了胸径较小的个体，3 种密度下，间伐当年胸径呈显著性差异 ($P < 0.05$)，D3 显著高于 D1 与 D2；D2 高于 D1，但未达到显著水平。间伐当年，两种间伐强度与对照的树高无显著差异，但 D3 显著高于 D2。间伐 1 年后，D3 与 D2 的胸径增量显著高于 D1，树高增量也达到显著水平；间伐 2、3 年后，D3 与 D2 的树高与胸径增长仍保持高于对照的状态。2014 年开始采脂，自然稀疏现象严重，2017 年的胸径增量已不存在差异，而树高增量仍存在差异，D2 最高，其次为 D3，D1 最小。受间伐当年生长差异的影响，观测期内，密度越小，胸径越大；2017 年 D2 与 D3 胸径相似，显著大于 D1 对照；而树高在 2013 年、2017 年 3 个密度间差异不显著 (图 1)。另外，密度显著作用于保留株的保存率，作用效应只在 2012 年 (Y2) 不显著。

由图 2 知，在自然稀疏作用下，未经疏伐的 10 年生湿加松林分胸径分布由 6 cm 径级向 18 cm 径级递增，20 cm 频率陡然下降，少量分布在 22 cm 与 24 cm 径级；随着林龄增大，分布范围逐渐向大径级扩展，峰值向大径级偏移。D2 处理下，经人工干预的 10 年生湿加松林分，在 17 cm 峰值位置两侧，大径级比例比小径级偏多；13 年生时各径级分布较为均衡，17 年生林分，分布范围明显在大径级偏多，其结构比 D1 对照更为合理。D3 处理将 10 年生湿加松林分间伐成偏向大径级的分布状态；13 年生林分分布仍偏向大径级；17 年生林分小径级 (12~16 cm 胸径) 的比例明显少

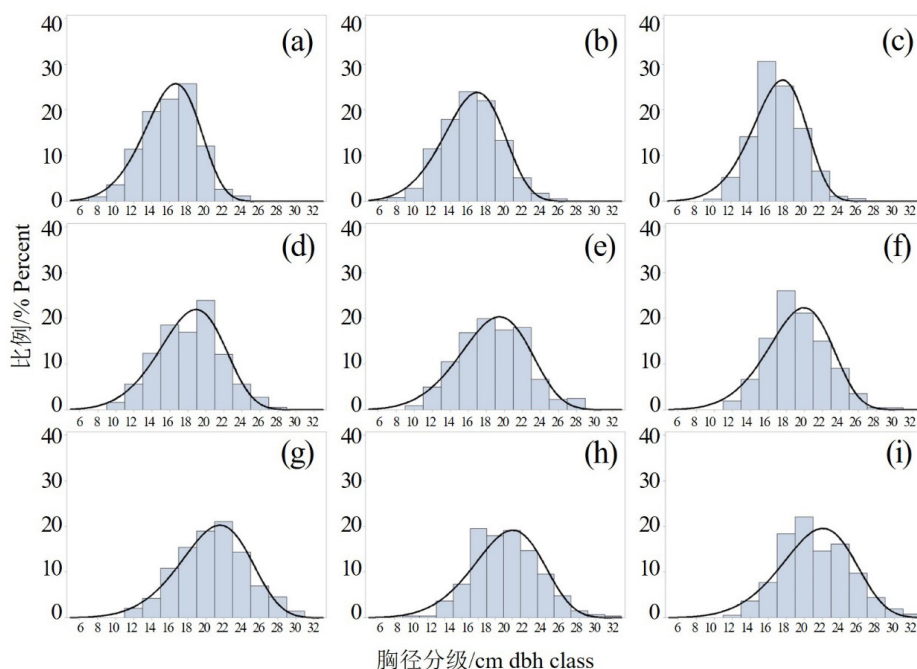


注: Y0, Y1, Y2, Y3, Y7 分别代表处理后第 0、1、2、3、7 年; 不同小写字母表示同一年度不同密度间存在显著差异 ($P<0.05$)。

Note: Y0, Y1, Y2, Y3, Y7 respectively represent the 0, 1, 2, 3, and 7 th years after treatment; different lowercase letters indicate significant differences between different densities in the same year ($P<0.05$).

图 1 处理后不同年份湿加松单株生长在不同密度处理下的差异

Figure 1 Differences of individual plant of *Pinus elliotii* × *P. caribaea* growth in different years after treatment under different density treatments



注: (a) D1 处理 10 年生林分; (b) D2 处理 10 年生林分; (c) D3 处理 10 年生林分; (d) D1 处理 13 年生林分; (e) D2 处理 13 年生林分; (f) D3 处理 13 年生林分; (g) D1 处理 17 年生林分; (h) D2 处理 17 年生林分; (i) D3 处理 17 年生林分。

Note: (a) 10 a forest stand treated by D1; (b) 10 a forest stand treated by D2; (c) 10 a forest stand treated by D3; (d) 13 a forest stand treated by D1; (e) 13 a forest stand treated by D2; (f) 13 a forest stand treated by D3; (g) 17 a forest stand treated by D1; (h) 17 a forest stand treated by D2; (i) 17 a forest stand treated by D3.

图 2 不同密度处理的湿加松径级分布差异

Figure 2 Differences in diameter class distribution of *Pinus elliotii* × *P. caribaea* treated with different densities

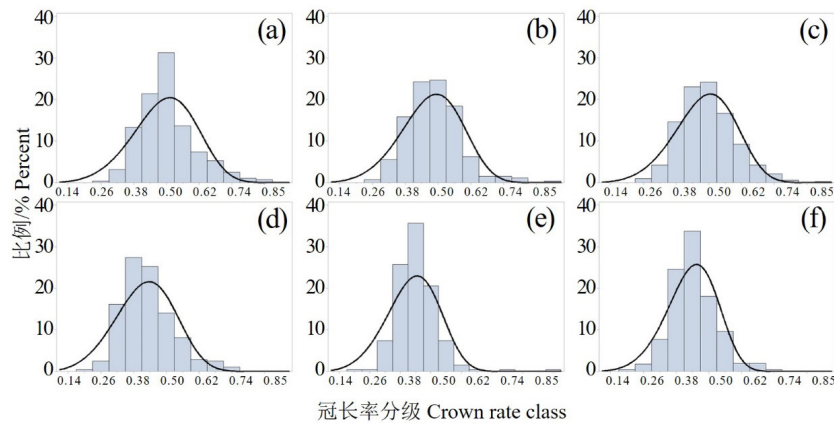
于对照, 26~32 cm 大径级比例多于对照, 但 18~24 cm 的 4 组径级中, 18~20 cm 的偏多, 可能中等偏上的径级在 14~17 年间受到全林强度割脂的影响。

2.2 间伐对单株冠形态的影响

自然稀疏与间伐后 3 种林分密度下的冠长率均符合正态分布与威布尔分布。自然稀疏的 10 年

生林分冠长率集中在 0.44~0.56; 13 年生峰值向更小的冠长率组偏移, 说明自然整枝效果明显, 但分布范围变广。人工间伐后的林分, 同样存在自然整枝现象, D2 与 D3 冠长率峰值均向更小的方向偏移, 但冠长率分布更集中, 说明间伐后, 冠的形态可能更快稳定 (图 3)。

林分单株冠幅表现不稳定, 未随着林龄增大

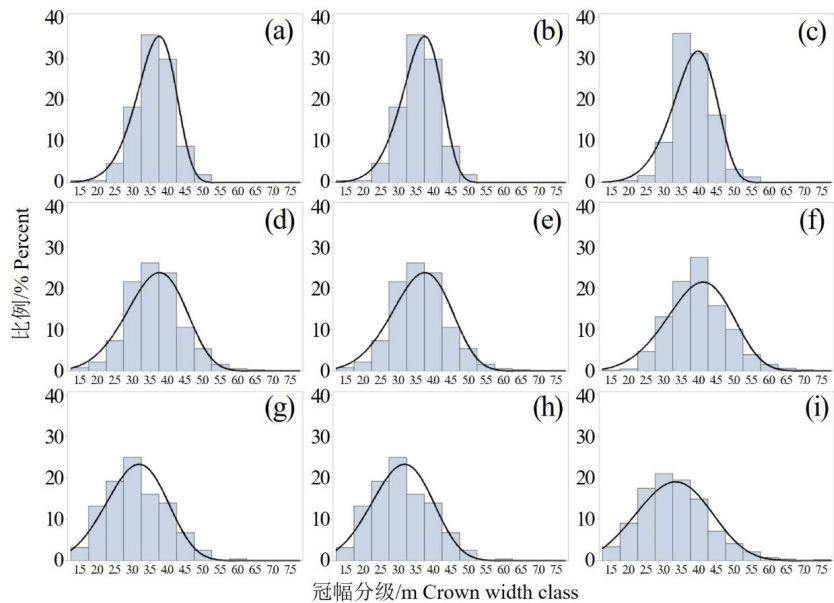


注: (a) D1 处理 10 年生林分; (b) D2 处理 10 年生林分; (c) D3 处理 10 年生林分; (d) D1 处理 13 年生林分; (e) D2 处理 13 年生林分; (f) D3 处理 13 年生林分。

Note: (a) 10 a forest stand treated by D1; (b) 10 a forest stand treated by D2; (c) 10 a forest stand treated by D3; (d) 13 a forest stand treated by D1; (e) 13 a forest stand treated by D2; (f) 13 a forest stand treated by D3.

图 3 不同湿加松林分密度的冠长率分布差异

Figure 3 Differences in the distribution of crown length ratios of different forest densities of *Pinus elliottii* × *P. caribaea*



注: (a) D1 处理 10 年生林分; (b) D2 处理 10 年生林分; (c) D3 处理 10 年生林分; (d) D1 处理 13 年生林分; (e) D2 处理 13 年生林分; (f) D3 处理 13 年生林分; (g) D1 处理 17 年生林分; (h) D2 处理 17 年生林分; (i) D3 处理 17 年生林分。

Note: (a) 10 a forest stand treated by D1; (b) 10 a forest stand treated by D2; (c) 10 a forest stand treated by D3; (d) 13 a forest stand treated by D1; (e) 13 a forest stand treated by D2; (f) 13 a forest stand treated by D3.

图 4 不同湿加松林分密度的冠幅分布差异

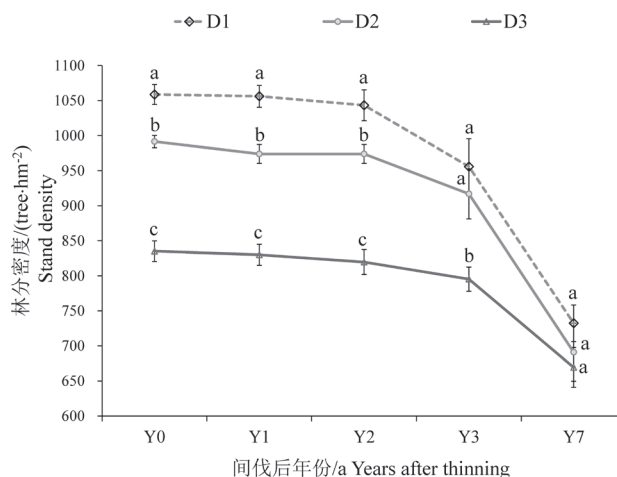
Figure 4 Differences in the distribution of crown width class of different forest densities of *Pinus elliottii* × *P. caribaea*

而发育变大(图4)。但3种密度下的差异较为明显,间伐当年差异较小;13年生林分,冠幅小于3.0 m的在D1下分布较多,峰值在D1最小;17年生峰值位置相似,但D2与D3冠幅大于3.5 m的比例明显多于D1,说明间伐有利于冠幅的发育。

2.3 疏伐对林分生长的影响

受间伐的影响,D1、D3间伐后初始林分密度存在显著差异,10年生、11年生、12年生的林分保持D1>D2>D3的林分密度;随后,自然稀疏现象严重,13年生的林分D1处理林分密度大幅度减少,D1与D2间不存在显著差异;17年生林分3个处理间达到相似林分密度。说明未经抚育间伐的林分,采脂期自然稀疏现象比间伐的林分严重(图5)。

D2处理移除的断面积与蓄积量较少,因此D2与D1的断面积与蓄积量在5个年度与对照均差异不显著;而D3处理移除比例较高,处理0~3年均显著低于对照与D1,但由于对照与D1在采脂期林分密度的大幅度减少,在处理第7年,林分断面积、蓄积量、蓄积量增量均无处理间的差异。2010年D1与D2处理移除的蓄积量均值分别为3.06和9.96 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$,若加上这部分材积的收益,则假设2013年主伐,D1、D2、D3每公顷共收获的材积为175.35、182.98和171.95 m^3 ;而假设2017年主伐,D1、D2、D3每公顷共收获的材

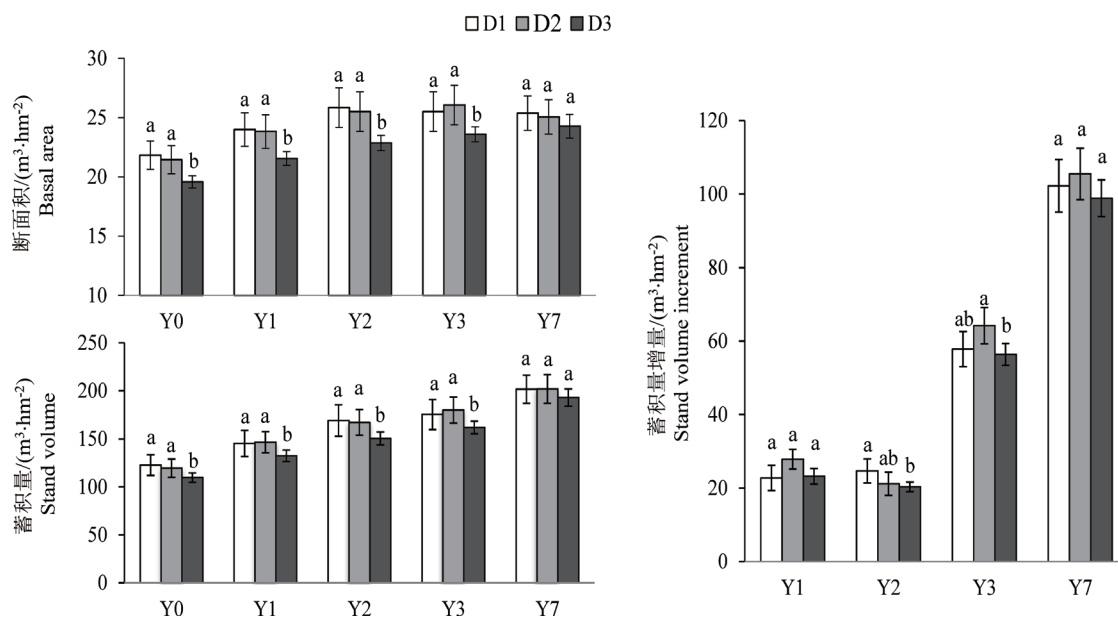


注: Y0, Y1, Y2, Y3, Y7 分别代表处理后第 0、1、2、3、7 年; 不同小写字母表示同一年度不同密度间存在显著差异 ($P<0.05$)。

Note: Y0, Y1, Y2, Y3, Y7 respectively represent the 0, 1, 2, 3, and 7 th years after treatment; different lowercase letters indicate significant differences between different densities in the same year ($P<0.05$).

图5 3种密度处理下的间伐后0~7年湿加松林分密度变化
Figure 5 Changes of stand density of *Pinus elliottii* × *P. caribaea* in 0~7 years after thinning under three density treatments

积为201.62、204.91和202.85 m^3 。说明断面积移除3%和10%的轻度下层疏伐没有降低总体收获的单位面积蓄积量(图6)。



注: Y0, Y1, Y2, Y3, Y7 分别代表处理后第 0、1、2、3、7 年; 不同小写字母表示同一年度不同密度间存在显著差异 ($P<0.05$)。
Note: Y0, Y1, Y2, Y3, Y7 respectively represent the 0, 1, 2, 3, and 7 th years after treatment; different lowercase letters indicate significant differences between different densities in the same year ($P<0.05$).

图6 湿加松林分断面积、蓄积量、蓄积量增量变化

Figure 6 Changes of *Pinus elliottii* × *P. caribaea* stand basal area, stand volume and stand volume increment

3 结论与讨论

湿加松是我国南方重要的脂材兼用树种, 本研究通过连续观测湿加松人工林的树高、胸径、冠幅等生长量性状, 计算其增量、林分密度、截面积、蓄积量等指标来分析不同强度间伐对 10 年湿加松林分生长的影响, 研究结果将为建立更高效的培育技术提供理论基础。

本试验采用的是下层疏伐, 即砍伐处于林冠下层、径级较小、生长比较衰弱的林木, 本试验按照截面积比例砍伐, 所以砍伐树林数量的比例是高于截面积比例的, 属于弱度到中度程度的疏伐。在地上部分, 疏伐可以减少竞争, 有利于单株生长, 有研究表明疏伐可以在一定程度改变土壤养分含量^[16]。对单株而言, 间伐后 3 年内对树高、胸径都有显著的影响, 并且生长增量与间伐强度呈正比, 间伐强度越大, 促进效果越好, 这与华北落叶松 *Larix principisrupprechtii*^[17]、日本落叶松 *Larix kaempferi*^[18] 等针叶树种的研究结果一致。并且, 间伐 3 年内还有利于湿加松冠幅发育、冠形稳定。间伐后第 4 年开始割脂, 间伐的促进作用不再显著, 这主要是由于随着林龄的增长, 加上对林分进行了割脂, 自然稀疏现象严重, 林分密度差异逐渐消失。

对整个林分而言, 断面积移除 3%, 处理 3 年与 7 年后单株生长、大径材分布、单株形态比对照理想, 加上移除的材积后蓄积量总体大于对照。断面积移除 10%, 处理 3 年蓄积量小于对照; 但平均胸径显著大于对照及移除 3% 的间伐强度, 如不进行采脂经营, 则该处理培育大径材林的可能性较大。由于 D3 处理林分林木数量较少, 总体产脂量相较 D1、D2 较低, 且间伐 10% 截面积的成本也较高, 因此综合各方面因素, 本研究结果表明间伐截面积 3% 的强度较适合培育脂材兼用林。

参考文献

- [1] 朱玉杰, 董希斌. 大兴安岭地区落叶松用材林不同抚育间伐强度经营效果评价[J]. 林业科学, 2016, 52(12): 29-38.
- [2] WALLENTIN C. Thinning of Norway spruce[M]. Alnarp: Cristofer Wallentin, 2007: 23-44.
- [3] 王懿祥. 人工马尾松和杉木林目标树经营理论与实

践[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012.

- [4] NILSSON U, ALBREKTSON A. Productivity of needles and allocation of growth in young Scots pine trees of different competitive status[J]. Forest Ecology and Management, 1993, 62(1-4): 173-187.
- [5] NILSSON U, AGESTAM E, Ekö P M, et al. Thinning of Scots pine and Norway spruce monocultures in Sweden[M]. Umeå: Studia Forestalia Suecica, 2010: 21-22.
- [6] 武朋辉, 白高平, 党坤良, 等. 抚育间伐对秦岭南坡油松中龄林生长的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(1): 20-26.
- [7] Juodvalkis A, Kairiukstis L, Vasiliauskas R. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania[J]. European Journal of Forest Research, 2005, 124(3): 187-192.
- [8] ALBAUGH T J, FOX T R, RUBILAR R A, et al. Post-thinning density and fertilization affect Pinus taeda stand and individual tree growth[J]. Forest Ecology and Management, 2017, 396: 207-216.
- [9] 沈熙环, 黄永权. 广东省湿加松良种选育和推广进展[J]. 林业科技通讯, 2018(1): 74-75.
- [10] 黄永权, 赵奋成. 广东湿加松良种选育现状及发展对策[J]. 福建林业科技, 2007(1): 158-162; 193.
- [11] 车晓亮, 沈亮升, 郭文冰, 等. 湿地松与湿加松松脂成分特性的差异[J]. 林业与环境科学, 2021, 37(1): 13-18.
- [12] 刘集汉, 陈鉴朝, 张秀喜, 等. 湿地松人工林的生长及其材脂两用经营模式的研究[J]. 广东林业科技, 1994, 10(3): 5-18.
- [13] 王青春, 成子纯, 李冬. 湿地松材脂两用林最适经营密度的研究[J]. 河南农业大学学报, 2000(4): 376-380.
- [14] 赵奋成, 郭文冰, 林昌明, 等. 不同近交程度对湿地松结实与生长的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(1): 9-17.
- [15] LITTELL R C, MILLIKEN G A, STROUP W W, et al. SAS[®] for mixed models[M]. 2nd ed. Cary, N C: SAS Institute Inc., 2006: 286-297.
- [16] 苏木荣, 邹晓君, 何海生, 等. 疏伐和施肥对红花荷生态景观林土壤生化性质的影响[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(6): 58-62.
- [17] 张鸿斌. 森林抚育间伐对华北落叶松生长的影响[J]. 现代农业科技, 2020(24): 97-98; 106.
- [18] 汤黎明, 孙拥康, 冯骏, 等. 不同强度间伐对日本落叶松人工林生长及林下植物多样性的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 90-93; 122.

致谢: 本研究调查在台山红岭种子园进行, 持续多年, 作者感谢屈明在试验前期对林地生长量调查的帮助。