

米老排人工林皆伐迹地种子天然更新林密度调控效应

唐继新^{1,2}, 雷渊才², 曾 冀¹, 李忠国¹, 李武志¹, 农良书¹, 赵 总¹

(1. 中国林业科学研究院 热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600; 2. 中国林业科学研究院 资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: 为探索米老排 *Mytilaria laosensis* 皆伐迹地种子天然更新幼林生长及密度效应, 基于单因素随机区组试验设计, 研究了米老排皆伐迹地不同密度种子天然更新幼林生长状况。结果表明: ①在间苗作业后 1.0~3.5 a, 未间苗抚育林分(ck)与间苗抚育林分在平均胸径、平均树高和平均单株材积生长量(总生长量与连年生长量)上差异显著; 但各林分优势木胸径、树高和单株材积的总生长量差异不显著。间苗处理提高林分平均生长水平和减小林分径阶分化程度的作用明显。②间苗抚育林分平均生长量曲线与连年生长量曲线的相交时间与密度呈负相关; 未间苗抚育林分平均胸径连年生长量的峰值出现在第 2 年, 间苗抚育林分出现在第 2~4 年。前 5 a 为种子更新林径向生长的旺盛期, 间苗抚育保留合理密度对林分的径向生长极为重要。③未间苗抚育林分平均树高的连年生长量与平均生长量在第 2~3 年相交, 而间苗处理平均树高的连年生长量与平均生长量在第 5 年仍未相交; 林分优势木前 5 a 的高生长处于旺盛期。④未间苗抚育和间苗抚育的林分径阶分布类型不同, 前者呈倒 J 型分布, 后者近似正态分布, 间苗处理改变林分径阶分布的类型、峰值和分化程度作用明显。⑤在间苗抚育后第 3.5 年, 密度较低林分的平均生长量优于密度较高处理林分。⑥充分利用米老排种子成熟期、落种期和天然更新特性, 通过科学的采伐期、采伐方式、迹地剩余物清理方式和迹地更新林的间苗抚育措施, 可有效实现采伐迹地天然更新和促进其更新林的生长。图 2 表 3 参 18

关键词: 森林培育学; 米老排; 皆伐迹地; 种子; 天然更新; 幼林生长; 密度效应; 间苗抚育

中图分类号: S723.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2018)03-0459-08

Tree density and growth of *Mytilaria laosensis* stands with natural seed regeneration on clearcut land

TANG Jixin^{1,2}, LEI Yuancai², ZENG Ji¹, LI Zhongguo¹, LI Wuzhi¹, NONG Liangshu¹, ZHAO Zong¹

(1. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China;

2. Research Institute of Forest Resources Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: To explore the effect of density on growth of young *Mytilaria laosensis* stands with natural seed regeneration on clearcut land, a single factor randomized block design experiment with natural spacing (ck treatment, three replications) and spaced seedling (T_A , T_B and T_C treatments, three replications) stands was established, and variance analysis of the stands were analysed with Least Significant Difference methods in Data Processing System (14.5), to test diameter at breast height (DBH), tree height, and single volume. Results showed that: (1) between ck and spaced seedling stands, during 3.5 years after spacing, stand density significantly decreased ($P < 0.01$) the average growth of total growth and annual increment of DBH, tree height, and single volume in the ck stands types; whereas, the total growth of DBH, tree height, and single volume of domi-

收稿日期: 2017-04-17; 修回日期: 2017-06-05

基金项目: 广西自然科学基金资助项目 (2016GXNSFBA380087); 中国林业科学研究院热带林业实验中心主任基金资助项目 (RL2012-01)

作者简介: 唐继新, 工程师, 博士研究生, 从事森林经理研究。E-mail: tangjixin999@126.com。通信作者: 雷渊才, 研究员, 博士生导师, 从事生长模型、抽样技术、生物统计分析和森林资源管理等研究。E-mail: yclei@caf.ac.cn

nant trees with both stands were not significantly affected ($P>0.05$). Spaced treatments(finished in 1.5 years old of seedling, remain density in hectare: T_A 1 650, T_B 2 800, and T_C 2 500)significantly improved ($P<0.01$) the average growth of the stands and reduced differentiation of diameter grades in the stands. (2) The higher stand density(ck), the earlier intersection time of the average growth curve and the annual growth curve for average DBH or tree height of the stand was appeared. Also, the peak value of annual growth for average DBH of ck stands occurred in the second year, and the peak value of spaced stands was during the second and 4th year. Before the 5th year, it was fast growth period for the stands with natural seed regeneration, so spacing was very important with radial growth of the stands. (3) The time of intersection for curves of average growth and annual growth of tree height in the ck stands was between the second and third year, but with the spaced stands did not intersect before the 5th year. Growth for tree height of dominant trees in all stands before the 5th year was fast (the annul increment of top height in each treatment was more than 1.49 m in each year). (4) Different types of stands had different diameter distributions; the ck stand had an inverted J distribution, but the spaced stands had an approximately normal distribution. (5) In the spaced stands, after 3.5 years, the average growth for DBH, tree height, and volume of less dense forest stands(T_A treatment stands) was better than those with higher density treatments (T_C or T_B stands). Thus, understanding of the mature period for seeds, the seed falling-stage, and natural regeneration characteristics of *Mytilaria laosensis* could enhance the scientific cutting time, cutting methods, clean ways for removing residues, shrubs, and herbaceous plants, and methods for spacing seedlings to enable effective natural regeneration on cutover land thereby promoting forest growth. [Ch, 2 fig. 3 tab. 18 ref.]

Key words: silviculture; *Mytilaria laosensis*; clearcut land; seed; natural regeneration; growth of young stands; effect of density; spaced planting

基于森林近自然经营的理论和技术,利用各种自然力,改善森林的结构和功能,充分保护、促进和利用林下的天然更新,减少森林经营的人力、物力和财力投入,是森林近自然化经营的重要原则,也是森林可持续经营的有效途径^[1-2]。受“里约赫尔辛基进程”森林认证及森林近自然经营要求的影响,“利用天然更新实现林分皆伐迹地的下一代更新”已引起了广泛的国际关注^[3],相对于传统人工造林更新,利用天然更新实现采伐迹地的更新,其更新及恢复的过程无需育苗、炼山、整地、挖坑和造林,具有物种和结构多样性高、更新成本低、更新过程地表水土流失少等优点^[3-10]。虽然天然更新具有如此多的优点,但国内以往对森林天然更新的研究主要集中在天然林方面,有关人工林天然更新的研究报道较少^[11],还未能满足中国人工林健康可持续经营的需要。故对皆伐作业具有可有效天然更新的潜力树种,运用近自然森林经营的理论和技术,研究制定科学的经营措施,促进和利用其采伐迹地的天然更新,对丰富中国人工林健康可持续经营的理论和实践具有重要意义。米老排 *Mytilaria laosensis* 又名壳菜果、三角枫、山桐油,为金缕梅科 Hamamelidaceae 壳菜果属 *Mytilaria* 常绿阔叶乔木,天然分布于中国广东、广西和云南省区以及越南和老挝等地,是中国亚热带区域适生范围广的用材树种,具有速生、干形通直圆满、材质优良、改良土壤、萌生力强、落种于林缘及空旷地宜萌发等特性^[12-15]。基于米老排树种的天然更新特性,本研究旨在探索米老排人工林皆伐迹地种子天然更新幼林的生长及其密度效应规律,为米老排皆伐作业法天然更新的间苗抚育提供技术支撑。

1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区凭祥市的中国林业科学研究院热带林业实验中心(热林中心)哨平实验场 39 林班 2 经营班(22°05′12″~22°05′22″N, 106°53′13″~106°53′33″E),属亚热带季风区,干湿季明显;太阳总辐射强,全年日照时数为 1 500~1 600 h,年均气温为 21.0℃,≥10℃积温为 7 000~7 500℃,最热月平均气温为 27.5℃,最冷月平均气温为 13.0℃,极端最低气温为-1.0℃;年均降水量为 1 380 mm,年蒸发量为 1 370 mm。海拔为 230 m,属低山丘陵;土壤为花岗岩发育而成的赤红壤,土层较厚^[16];有机质在土壤 A 层、B 层的质量分数分别为 3.71%和 1.75%,全氮质量分数为 0.17%,全磷质量分数为

0.03%, pH 4.1~4.6。更新迹地前茬林为米老排人工纯林, 造林时间 1984 年春, 造林苗木为裸根实生苗, 造林密度为 $2\,500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$; 皆伐前经过 1 次透光伐及 1 次抚育间伐(株数间伐强度 20%~30%), 皆伐时间为 2011 年底(皆伐作业前当年的米老排林分种子雨已基本散落; 林分皆伐与集材后人工清理采伐剩余物, 未炼山)。伐前林分平均胸径为 20.2 cm, 平均树高为 22.2 m, 立木密度为 $1\,492\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$, 郁闭度为 0.9, 凋落物层厚度为 5~10 cm, 林下灌木主要有山苍子 *Litsea cubeba*, 香港大沙叶 *Pavetta hongkongensis* 和三桠苦 *Evodia lepta* 等, 草本主要有粽叶芦 *Thysanolaena maxima*, 五节芒 *Miscanthus floridulus*, 山姜 *Alpinia japonica* 等。皆伐后, 迹地种子天然更新苗木主要为次年更新, 更新的树种主要为米老排。

2 研究方法

2.1 实验设计及样地调查方法

2013 年春, 经对米老排皆伐迹地天然更新实地的踏查, 选择代表性地块, 按单因素随机区组设计, 设计间苗抚育试验, 以不间苗作为对照组(ck), 处理组间苗密度分别为 $1\,650\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}(\text{T}_\text{A})$, $2\,800\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}(\text{T}_\text{B})$, $2\,500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}(\text{T}_\text{C})$, 3 重复·组⁻¹, 共 12 个面积为 400~600 m²·个⁻¹ 矩形样地。

迹地苗木间苗抚育定株方法: 将固定样地均匀划分为 5 m × 5 m 的样格, 选择空间分布均匀、无虫害、干形好和长势优良的苗木为保留木。

本底数据调查方法: ①间苗抚育林分, 对保留木进行编号, 并测量胸径和树高; ②未间苗抚育林分, 随机抽取 4~7 个(400 m² 抽 4 个, 600 m² 抽 7 个)样格为固定观测样格, 对固定观测样格内所有高度大于 0.3 m 的林木进行编号, 并测量胸径和树高。

迹地种子更新林间苗抚育和本底调查的完成时间分别为 2013 年 6 月和 2013 年 7 月。2014–2016 年, 连续 3 a 对固定样地林木进行定株生长观测, 记录各年林分的生长及密度状况。胸径、树高、单株材积均为样地林分统计的平均值, 单株材积计算公式^[17]: $v=0.683\,297\times10^{-4}d^{1.926\,256}h^{0.884\,061\,4}$ 。其中: d 表示林分平均胸径, h 表示林分平均树高。

2.2 数据分析及方法

数据统计分析及作图分别采用 DPS(V14.5)和 EVIEWS 8.0 软件, 方差分析采用最小显著差法(LSD)多重比较法。

3 结果与分析

3.1 间苗对林分平均生长的影响

3.1.1 间苗对林分平均胸径生长的影响 表 1 为不同间苗密度下, 米老排种子天然更新林平均生长及方差分析结果。由表 1 可知: 从第 4 年(间苗抚育后第 2.5 年)起, 各处理林分平均胸径的总生长量与林分密度呈负相关。对平均胸径生长作图(图 1)可知: T_A 处理平均胸径连年生长量的峰值在第 4 年, 其峰值为各处理中的最高值; 而其余处理的峰值在第 2~3 年。除 T_A 处理外, 所有处理林分的平均生长量曲线与连年生长量曲线均在前 5 a 相交, 且林分密度越高, 平均生长量曲线与连年生长量曲线相交越早, 说明林分经营密度与林木胸径的连年生长量负相关。间苗抚育后 1.0~3.5 a 内, 对照组平均胸径的连年生长量和总生长量均明显低于间苗处理对应的生长量, 差异达到极显著($P<0.01$); T_A 与 T_C 处理间胸径总生长量的差异仅在间苗后的第 1 年出现, 其差异随间苗时间的推移而逐渐消除, 这可能与间苗抚育经营引起的误差有关。抚育间苗后的 3.5 a 内, 随着间苗时间的推移, T_A 处理与其他处理在胸径连年生长量的差异越来越显著, 如在抚育间苗后第 2.5 年, 仅有 T_A 与 T_C 处理的差异显著, 而到间苗后第 3.5 年, T_A 处理与任何处理的连年生长差异均达极显著水平($P<0.01$)。迹地林分抚育经营密度对胸径的生长影响极为显著。此结果与前人研究结果^[18]一致。

3.1.2 间苗对林分平均树高生长的影响 基于表 1 和图 1 的分析可知: 与对照相比, 间苗抚育处理树高的连年生长量与平均生长量均未相交(图 1)。对照组连年生长量的峰值在第 2 年, T_B 处理首次连年生长量的峰值在第 3 年(此后, 连年生长量先下降, 随后再上升); 而 T_A 和 T_C 处理的连年生长量在第 5 年仍未达峰值。除间苗后的第 1 年, T_A 与 T_C 处理树高生长总量差异显著外, 观测期内间苗抚育处理间的生

长总量差异均不显著($P>0.05$)。与未间苗林分相比,间苗2.5 a 后,林分平均树高的总生长量和连年生长量的差异均达极显著水平($P<0.01$)。上述现象的产生,可能与对照林分密度过高,林木空间生长竞争异常激烈有关;对间苗处理组而言,仅 T_A 与 T_B 处理在间苗抚育后第 3.5 年其树高连年生长量差异显著($P<0.05$)。

3.1.3 间苗对林分平均单株材积生长的影响 由表 1 和图1(图 1 中第 1 年、第 2 年、第 3 年的生长量数

表 1 不同密度米老排种子天然更新林平均生长及方差分析

Table 1 Growth performance of young stands of <i>Mytilaria laosensis</i> seed natural regeneration with different densities									
林龄/ a	间苗 时间/a	处 理	密度/(株· hm ⁻²)	胸径/cm		树高/m		材积/(×10 ⁻² m ³ ·株 ⁻¹)	
				总生长量	连年增量	总生长量	连年增量	总生长量	连年增量
1.5	0	T_A	1 650	1.18±0.10 aA	0.79±0.06 aA	2.01±0.05 aA	1.34±0.04 aA	0.02±0.00 aA	0.01±0.00 aA
		T_B	2 800	1.23±0.17 aA	0.82±0.11 aA	2.13±0.15 aA	1.42±0.10 aA	0.02±0.01 aA	0.01±0.01 aA
		T_C	2 500	1.19±0.12 aA	0.79±0.08 aA	2.14±0.05 aA	1.43±0.04 aA	0.02±0.00 aA	0.01±0.00 aA
		ck	27 871	1.10±0.16 aA	0.73±0.11 aA	1.97±0.15 aA	1.31±0.10 aA	0.02±0.01 aA	0.01±0.01 aA
2.5	1.0	T_A	1 650	3.20±0.15 bA	2.02±0.24 aA	3.55±0.09 bA	1.53±0.08 aA	0.20±0.03 bB	0.18±0.03 bB
		T_B	2 800	3.40±0.21 abA	2.17±0.38 aA	3.88±0.20 abA	1.75±0.24 aA	0.24±0.04 bAB	0.22±0.05 bAB
		T_C	2 500	3.85±0.20 aA	2.66±0.32 aA	4.08±0.23 aA	1.94±0.23 aA	0.32±0.05 aA	0.30±0.05 aA
		ck	27 100	1.94±0.29 cB	0.84±0.40 bB	3.49±0.31 bA	1.53±0.43 aA	0.08±0.02 cC	0.06±0.03 cC
4.0	2.5	T_A	1 650	6.19±0.47 aA	1.99±0.40 aA	6.85±0.53 aA	2.20±0.41 aA	1.27±0.28 aA	0.72±0.20 aA
		T_B	2 800	5.81±0.11 aA	1.61±0.09 abA	7.00±0.52 aA	2.08±0.33 aA	1.13±0.11 aA	0.59±0.06 aA
		T_C	2 500	6.10±0.33 aA	1.50±0.10 bA	7.13±0.56 aA	2.03±0.23 aA	1.27±0.21 aA	0.63±0.11 aA
		ck	25 067	2.38±0.34 bB	0.29±0.07 cB	4.45±0.29 bB	0.64±0.16 bB	0.14±0.05 aB	0.04±0.02 bB
5.0	3.5	T_A	1 650	8.04±0.44 aA	1.85±0.08 aA	9.43±0.40 aA	2.58±0.19 aA	2.77±0.40 aA	1.50±0.14 aA
		T_B	2 800	7.15±0.05 bA	1.34±0.09 bB	9.12±0.39 aA	2.12±0.15 bA	2.13±0.10 bA	1.00±0.05 bB
		T_C	2 500	7.47±0.29 abA	1.37±0.06 bB	9.33±0.72 aA	2.20±0.18 abA	2.38±0.35 abA	1.11±0.12 bB
		ck	23 893	2.66±0.34 cB	0.28±0.06 cC	5.13±0.29 bB	0.68±0.19 cB	0.19±0.05 cB	0.05±0.02 cC

说明:数据为均值±标准差;同列不同小写字母表示同一年相同因子的不同处理间差异显著($P<0.05$);同列不同大写字母表示同一年相同因子的不同处理间差异极显著($P<0.01$);ck 即对照,对应树高大于 1.3 m 的统计数据

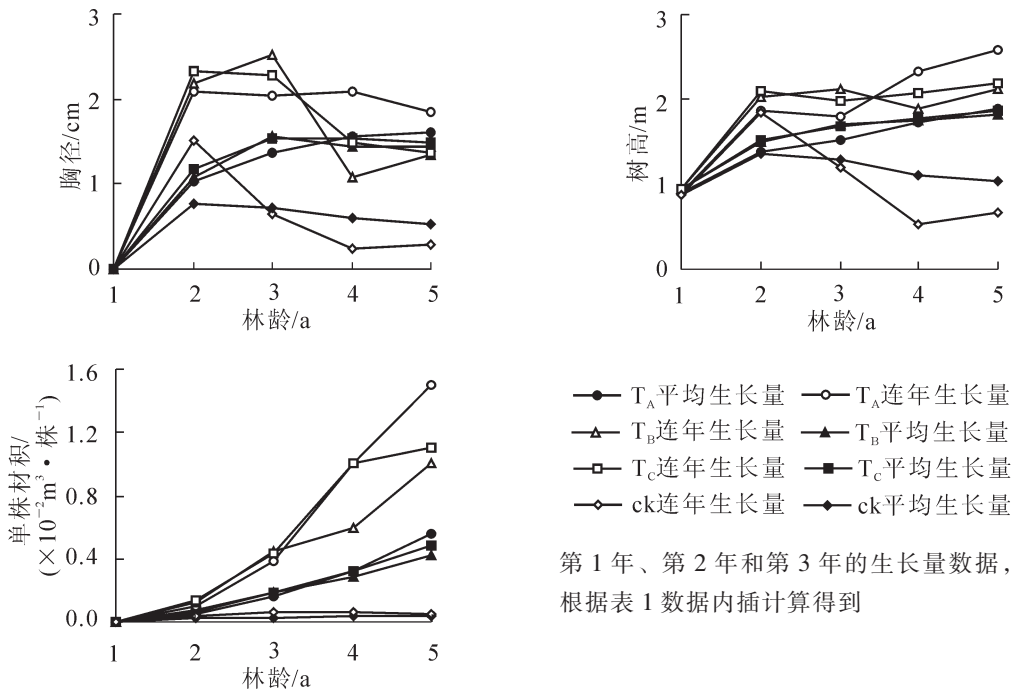


图 1 不同密度林分平均胸径、平均树高和平均单株材积生长过程曲线

Figure 1 Growth curves of average DBH, average tree height and average single volume of the stands with different densities

据，根据表1 数据内插计算得到)可知：抚育间苗后 1.0~3.5 a 间，密度对不同处理林分平均单株材积总生长量和连年生长量的影响均极显著($P<0.01$)，间苗处理的平均单株材积生长量显著高于对照。在间苗后第 2.5 年，间苗处理间平均单株材积总生长量的差异不显著；间苗后第 3.5 年， T_A 处理与 T_B 处理的总生长量差异显著($P<0.05$)， T_A 与其余间苗处理间平均材积连年生长量的差异均极显著($P<0.01$)。

3.2 间苗对林分优势木生长的影响

3.2.1 间苗对林分优势木径向生长的影响 由表 2 和图2(图 2 中第 1 年、第 2 年、第 3 年生长量数据根

表 2 不同密度米老排种子天然更新幼林优势木生长及方差分析

Table 2 Variance analysis and growth performance of dominant tree of young stands of *Mytilaria laosensis* seed natural regeneration with different densities

林龄/a	间苗时间/a	处理	密度/(株·hm ⁻²)	胸径/cm	树高/m	材积/(×10 ⁻² m ³ ·株 ⁻¹)	高径比
1.5	0	T _A	1 650	2.94 ± 0.59 aA	3.24 ± 0.15 aA	0.16 ± 0.06 aA	113.54 ± 23.76 aA
		T _B	2 800	3.09 ± 0.16 aA	3.44 ± 0.46 aA	0.18 ± 0.03 aA	111.16 ± 12.88 aA
		T _C	2 500	3.09 ± 0.25 aA	3.37 ± 0.20 aA	0.16 ± 0.02 aA	109.43 ± 3.80 aA
		ck	27 871	3.14 ± 0.83 aA	3.61 ± 0.48 aA	0.21 ± 0.12 aA	118.64 ± 21.99 aA
2.5	1.0	T _A	1 650	4.91 ± 0.52 aA	4.83 ± 0.31 aA	0.56 ± 0.15 aA	98.77 ± 5.53 aA
		T _B	2 800	6.00 ± 0.60 aA	5.52 ± 0.95 aA	1.00 ± 0.33 aA	91.67 ± 7.90 aA
		T _C	2 500	5.97 ± 0.35 aA	5.12 ± 0.50 aA	0.91 ± 0.17 aA	85.79 ± 4.66 aA
		ck	27 100	5.78 ± 1.18 aA	5.88 ± 0.58 aA	1.01 ± 0.48 aA	103.22 ± 11.17 aA
4.0	2.5	T _A	1 650	8.73 ± 1.07 aA	8.06 ± 0.73 aA	2.87 ± 0.94 aA	92.50 ± 3.68 bA
		T _B	2 800	9.21 ± 0.62 aA	9.24 ± 0.46 aA	3.54 ± 0.57 aA	100.45 ± 4.01 abA
		T _C	2 500	8.87 ± 0.65 aA	8.67 ± 0.38 aA	3.11 ± 0.55 aA	97.93 ± 3.08 abA
		ck	25 067	8.03 ± 1.04 aA	8.13 ± 0.71 aA	2.47 ± 0.82 aA	101.60 ± 4.21 aA
5.0	3.5	T _A	1 650	10.84 ± 0.72 aA	10.64 ± 0.63 aA	5.49 ± 1.00 aA	98.19 ± 0.68 bA
		T _B	2 800	11.10 ± 0.64 aA	11.01 ± 0.17 aA	5.89 ± 0.63 aA	99.46 ± 6.33 bA
		T _C	2 500	10.78 ± 0.75 aA	10.88 ± 1.09 aA	5.55 ± 1.22 aA	100.84 ± 4.84 bA
		ck	23 893	9.30 ± 1.25 aA	10.77 ± 1.07 aA	4.19 ± 1.45 aA	116.31 ± 8.51 aA

说明：处理组取 3 株·样地⁻¹ 优势木，对照取 2 株·样地⁻¹ 优势木作为统计对象

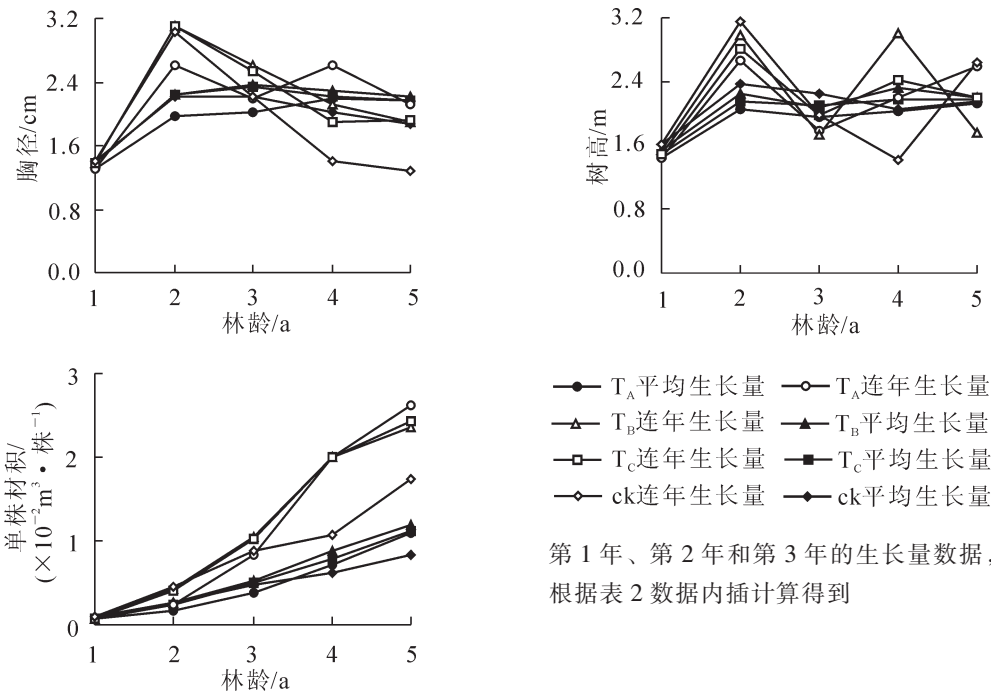


图 2 不同密度优势木胸径、优势木树高和优势木单株材积生长过程曲线

Figure 2 Growth curves of DBH, tree height and single volume of dominant tree with different densities

据表 1 数据内插计算得到)可知:各处理优势木胸径连年生长量及平均生长量的峰值出现在第 2~4 年,此后生长速度趋缓。间苗抚育后的 1.3~3.5 a,间苗处理优势木胸径连年生长量高于对照;在间苗后 3.5 a 内,间苗密度对优势木胸径的生长有一定影响,但各密度处理间胸径总生长量的差异不显著。所有处理林分优势木胸径的平均生长量与连年生长量均在前 5 a 相交,基本表现为林分密度越高,平均生长量与连年生长量相交越早,与林分平均胸径的生长规律类似。

3.2.2 间苗对林分优势木高生长的影响 在前 5 a,各处理优势木树高连年生长量呈一定波动性,但各年树高连年生长量均大于 1.4 m,表明其高生长仍处于旺盛期;所有处理优势木树高的平均生长量与连年生长均在前 5 a 相交(图 2),间苗密度对林分优势高生长的影响不显著。

3.2.3 间苗对林分优势木单株材积生长的影响 与林分优势木的胸径、树高生长类似,在抚育间苗后 1.0~3.5 a,各处理优势木单株材积的总生长量虽有一定差异,但差异不显著;在间苗 1 a 后,间苗处理单株材积的连年生长量开始大于对照(图 2)。

3.2.4 间苗对林分优势木高径比的影响 由表 2 可知:间苗后第 1 年,间苗与未间苗处理优势木的高径比差异不显著;至间苗后第 2.5 年时,仅有 T_A 处理与对照的高径比差异显著($P<0.05$);而至间苗后的第 3.5 年,对照与任何间苗处理的高径比差异都显著($P<0.05$),表明间苗抚育措施对降低林分优势木的高径比作用明显。

3.3 间苗对林分径阶结构的影响

由表 3 分析可知:未间苗处理林分的径阶分布呈典型的倒 J 型分布,而间苗处理林分的径阶分布为近似正态分布。同一林龄不同密度下径阶分布的范围不同, T_B 较其他处理径阶的分布范围更广, T_A 的径阶分布相对其他处理更集中。从间苗后第 2.5 年起,对照组径阶分布的极大值开始小于间苗处理,间苗抚育后第 3.5 年,对照组径阶分布的极大和极小值均小于间苗处理。间苗抚育后 1.0~3.5 a,对照组林木 60% 以上的径阶分布在 1~2 cm,表明未间苗处理林分林木的进阶极缓慢。在间苗抚育后第 1 年,间苗处理间径阶分布峰值的对应径阶值无差异,但在间苗抚育后第 3.5 年, T_A 处理径阶分布峰值的径阶值开始高于 T_B 与 T_C 。同一林龄不同处理,林木胸径的大小分化程度随密度增大而提高,小密度林分的林木较均匀,且“大径木”比例相对较高。

表 3 米老排种子天然更新林幼林径阶分配受密度的影响

Table 3 The effect of densities to diameter distribution of young stands of *Mytilaria laosensis* young stands of seed natural regeneration

径阶/cm	间苗 1.0 a 后径阶分布百分比/%				间苗 2.5 a 后径阶分布百分比/%				间苗 3.5 a 后径阶分布百分比/%			
	T_A	T_B	T_C	ck	T_A	T_B	T_C	ck	T_A	T_B	T_C	ck
1	6.52	6.51	0.34	40.74	—	0.78	—	34.99	—	—	—	30.27
2	21.74	13.02	10.44	32.53	0.87	1.82	1.37	28.92	—	0.53	0.69	30.27
3	25.22	32.55	23.91	18.40	6.52	6.25	3.42	14.68	0.89	2.92	1.72	13.97
4	32.61	31.51	34.68	6.24	7.83	11.98	6.85	10.60	2.67	6.37	1.38	8.73
5	13.04	14.58	25.25	1.75	11.74	16.93	20.55	6.07	5.78	8.49	6.90	7.57
6	0.87	1.30	4.38	0.22	23.04	26.30	24.66	2.98	8.89	12.20	17.24	4.66
7	—	0.26	1.01	0.11	26.52	22.14	25.68	1.32	12.89	21.75	19.66	2.21
8	—	0.00	—	—	18.70	11.20	12.67	0.33	21.78	23.61	22.07	1.63
9	—	0.26	—	—	3.04	2.08	3.77	0.11	22.67	14.85	18.28	0.58
10	—	—	—	—	1.74	0.26	1.03	—	20.44	7.16	7.93	0.00
11	—	—	—	—	—	0.26	—	—	2.67	1.59	2.41	0.12
12	—	—	—	—	—	—	—	—	1.33	0.27	1.38	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00	0.34	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.27	—	—

说明: “—” 表示该处理下径阶的株数百分比为 0

4 结论与讨论

4.1 结论

与对照组相比,间苗处理对林分优势木胸径、树高和单株材积的总生长量影响不显著,对林分平均胸径、平均树高和平均单株材积的总生长量与连年生长量影响显著;间苗处理明显提高林分平均整体生长水平,减小林分径阶分化程度,提高“大径木”百分比,减缓林分平均胸径和平均树高连年生长量的衰减速度。

米老排种子天然更新林平均胸径与其优势木胸径的连年生长量峰值均出现第 2~4 年,所有处理优势木胸径平均生长量与连年生长相交时间均在前 5 a。此阶段为种子更新林径向生长的旺盛期,间苗抚育保留合理密度对林分的径向生长极为重要。

未间苗处理林分平均树高的连年生长量与平均生长量曲线在第 2~3 年相交,间苗处理平均树高的连年生长量与平均生长量曲线在第 5 年仍未相交;林分优势木前 5 a 的树高生长处于旺盛期。

间苗处理林分优势木树高平均生长量与连年生长量曲线的相交时间早于其林分平均树高对应曲线的相交时间。

未间苗处理林分径阶分布呈倒 J 型分布,间苗处理林分径阶分布近似正态分布,间苗处理相对“大径木”比例较高。表明间苗处理在改变林分径阶分布的类型、峰值和分化程度上作用明显。

4.2 讨论

基于近自然森林经营的理论和技术,利用米老排人工林种子的成熟期、落种期和天然更新特性(在林内及林缘的裸露空地易于天然更新),择机对米老排人工林进行采伐及对其采伐更新迹地实施科学的间苗抚育,可实现采伐迹地种子的天然更新和种子更新林的高效生长;节省传统人工造林环节的挖坑、整地、植苗等人力及物力的投入,避免或减轻传统造林方式对森林环境(植被和土壤等)的破坏。由于本研究试验林分间苗抚育时间较短,而在采伐收获前,哪种间苗抚育措施林分更好,种子天然更新林的生长与传统人工更新林的生长孰优孰劣,仍需进一步研究。

5 参考文献

- [1] 曾伟生. 近自然森林经营是提高我国森林质量的可行途径[J]. 林业资源管理, 2009(2): 6 - 11.
ZENG Weisheng. Close-to-nature forest management: a practical approach to improve the forest quality of China [J]. *For Res Manage*, 2009(2): 6 - 11.
- [2] 陆元昌. 近自然森林经营的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [3] BARBOUR R J, BAILEY R E, COOK J E. Evaluation of relative density, diameter growth and stem form in a red spruce (*Picea rubens*) stand 15 years after precommercial thinning [J]. *Can J For Res*, 1992, **22**(2): 229 - 238.
- [4] POTHIER D. Twenty-year results of precommercial thinning in a balsam fir stand [J]. *For Ecol Manage*, 2002, **168**(1/3): 177 - 186.
- [5] RUHA T, VARMOLA M. Precommercial thinning in naturally regenerated scots pine stands in northern Finland [J]. *Silv Fenn*, 1997, **31**(4): 401 - 415.
- [6] ULVCRONA K A, CLAEISSON S, SAHLÉN K, et al. The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris* [J]. *Forestry*, 2007, **80**(3): 323 - 325.
- [7] STOKES V, KERR G. Long-term growth and yield effects of respacing natural regeneration of *Sitka spruce* in Britain [J]. *Eur J For Res*, 2013, **132**(2): 351 - 362.
- [8] 王娜, 郝清玉. 森林天然更新影响因子研究进展[J]. 广东农业科学, 2012(6): 68 - 70.
WANG Na, HAO Qingyu. Research progress on influence factors of forest natural regeneration [J]. *J Guangdong Agric Sci*, 2012(6): 68 - 70.
- [9] 田晓萍. 杉木萌芽更新的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
TIAN Xiaoping. *Sprouting Regeneration of Chinese Fir* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2008.
- [10] 李喜霞, 刘明国, 李海春. 朝阳地区人工采伐带内油松天然更新研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, **34**(1): 35 - 39.

- LI Xixia, LIU Mingguo, LI Haichun. Analysis of factors which affect natural regeneration of Chinese pine in cutting belt of Chaoyang [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2003, **34**(1): 35 – 39.
- [11] 连相汝, 鲁法典, 刘成杰, 等. 我国人工林天然更新研究进展[J]. 世界林业研究, 2013, **26**(6): 52 – 58.
LIAN Xiangru, LU Fadian, LIU Chengjie, *et al.* Research progress of natural regeneration of forest plantation in China [J]. *World For Res*, 2013, **26**(6): 52 – 58.
- [12] 白灵海, 唐继新, 明安刚, 等. 广西大青山米老排人工林经济效益分析[J]. 林业科学研究, 2011, **24**(6): 784 – 787.
BAI Linghai, TANG Jixin, MING Angang, *et al.* Economic benefit analysis of 28-year-old *Mytilaria laosensis* plantations in Daqingshan, Guangxi of China [J]. *For Res*, 2011, **24**(6): 784 – 787.
- [13] 袁洁. 8个米老排天然群体的遗传多样性研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
YUAN Jie. *Study on Genetic Diversity of Eight Natural Populations of Mytilaria laosensis* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2014.
- [14] 郭文福, 蔡道雄, 贾宏炎, 等. 米老排人工林生长规律的研究[J]. 林业科学研究, 2006, **19**(5): 585 – 589.
GUO Wenfu, CAI Daoxiong, JIA Hongyan, *et al.* Growth laws of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. *For Res*, 2006, **19**(5): 585 – 589.
- [15] 王克建, 蔡子良. 热带树种栽培技术[M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2008.
- [16] 汪炳根, 卢立华. 广西大青山实验基地森林立地评价与适地适树研究[J]. 林业科学研究, 1998, **11**(1): 78 – 85.
WANG Binggen, LU Lihua. Study on forest site quality evaluation and appropriate choice of tree species for sites of Daqingshan experimental base in Guangxi [J]. *For Res*, 1998, **11**(1): 78 – 85.
- [17] 陈永富, 郭文福, 黄镜光. 米老排立木材积表及地位指数的编制[J]. 林业科学研究, 1991, **4**(增刊): 116 – 119.
CHEN Yongfu, GUO Wenfu, HUANG Jingguang. Establishment of volume table and site index table of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. *For Res*, 1991, **4**(suppl): 116 – 119.
- [18] 李炎香, 谭天泳, 黄镜光, 等. 米老排造林密度试验初报[J]. 林业科学研究, 1988, **1**(2): 206 – 212.
LI Yanxiang, TAN Tianyong, HUANG Jingguang, *et al.* A preliminary report on the densities of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. *For Res*, 1988, **1**(2): 206 – 212.