北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

密度调控对中龄米老排人工林材种结构和经济效益的影响

唐继新 陈东成 潘启龙 刘衡 蒋志林

Effects of density regulation on timber assortment structure and economic benefits of middle-aged *Mytilaria laosensis* plantations

Tang Jixin, Chen Dongcheng, Pan Qilong, Liu Heng, Jiang Zhilin

引用本文:
唐继新, 陈东成, 潘启龙, 刘衡, 蒋志林. 密度调控对中龄米老排人工林材种结构和经济效益的影响[J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(4):82–91. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240208
Tang Jixin, Chen Dongcheng, Pan Qilong, Liu Heng, Jiang Zhilin. Effects of density regulation on timber assortment structure and economic benefits of middle–aged *Mytilaria laosensis* plantations[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(4):82–91. doi: 10.12171/j.1000–1522.20240208

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240208

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

密度对米老排萌生幼龄林生长及直径分布的影响
Effects of density on growth and diameter distribution of young coppice stands of *Mytilaria laosensis*
北京林业大学学报, 2018, 40(5): 46–54. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20170291

采伐方式对米老排人工林天然更新的影响
Effects of cutting methods on natural regeneration of *Mytilaria laosensis* plantation
北京林业大学学报, 2020, 42(8): 12–21. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190281

不同密度调控强度对华北落叶松人工林土壤质量的影响
Effects of different density regulation intensities on soil quality in *Larix principis–rupprechtii* plantation
北京林业大学学报, 2021, 43(6): 50–59. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200322

密度调控对长白落叶松人工林土壤呼吸的影响
Effects of density control on soil respiration in *Larix olgensis* plantation.
北京林业大学学报, 2017, 39(6): 51–59. https://doi.org/10.13332/j.1000–1522.20170029

林分密度对云顶山柏木人工林群落结构和物种多样性的影响
Effects of stand density on community structure and species diversity of *Cupressus funebris* plantation in Yunding Mountain, southwestern China
北京林业大学学报, 2020, 42(1): 10–17. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20190202

南亚热带典型人工林土壤饱和导水率特征及其影响因素研究
Characteristics of soil saturated hydraulic conductivity and its influencing factors of typical plantations in South Subtropical Zone
北京林业大学学报, 2021, 43(4): 100–107. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20200124

DOI:10.12171/j.1000−1522.20240208

密度调控对中龄米老排人工林材种结构和经济效益的影响

唐继新[1,2,3]　陈东成[1]　潘启龙[1]　刘　衡[1]　蒋志林[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. 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站，广西 凭祥 532600；3. 崇左凭祥友谊关森林生态系统广西野外科学观测研究站，广西 凭祥 532600）

摘要:【目的】分析密度调控对中龄米老排人工林材种结构和经济效益的影响，为其人工林的经营决策提供科学依据。**【方法】**以广西南亚热带区域内中龄阶段实施模式Ⅰ密度调控策略（经历 1 次间伐，伐后林分密度为 1 200 株/hm^2）的哨平米老排试验林和模式Ⅱ密度调控策略（经历 3 次间伐，伐后林分密度为 520 株/hm^2）的青山米老排试验林为对象，在各林分中伐取了 14 株不同径阶的标准木进行树干解析，以中央断面区分求积法计算各材种出材量，并通过更新重置成本法分析不同林分的经济效益。**【结果】**(1)模式Ⅰ与模式Ⅱ林分之间的小径材和中径材非累计出材量的差异均显著($P < 0.05$)。(2)从第 25 年起，模式Ⅱ林分的小径材累计出材量低于模式Ⅰ；从第 21 年起，模式Ⅱ林分的中径材和大中径材累计出材量均高于模式Ⅰ，但两林分各材种累计出材量的差异均未达显著水平($P > 0.05$)。(3)模式Ⅰ与模式Ⅱ林分各材种累计出材量的变化规律相似：小径材累计出材量先随林龄的增长而递增，然后小幅递减，最后趋于稳定；中径材累计出材量先随林龄增长而增长，然后趋于稳定；大径材和大中径材的累计出材量随林龄的增长而递增。(4)以中小径材为经营目标，模式Ⅰ与模式Ⅱ林分的最佳轮伐期分别为 17～19 年和 17～21 年，经济效益差异不显著；以大中径材为主要经营目标，从第 23 年起模式Ⅱ林分的动态经济效益显著高于模式Ⅰ($P < 0.05$)，且模式Ⅱ林分的轮伐期应≥26 年。**【结论】**模式Ⅰ与模式Ⅱ的密度调控措施对米老排人工林不同材种的累计出材量和静态经济效益影响不显著，但对动态经济效益的影响显著。两种模式林分的最优经营策略（动态经济效益最大）均为生产中小径材，两者在该策略下的经济效益无显著差异；当生产大中径材时，两种模式的动态经济效益均随林龄增长显著下降，其中模式Ⅰ林分会出现亏损，但模式Ⅱ仍能保持较好的盈利水平。

关键词：米老排；密度调控；树干解析；材种结构；经济效益
中图分类号：S754.5　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000−1522(2025)04−0082−10
引文格式：唐继新，陈东成，潘启龙，等. 密度调控对中龄米老排人工林材种结构和经济效益的影响［J］. 北京林业大学学报，2025，47(4)：82−91. Tang Jixin, Chen Dongcheng, Pan Qilong, et al. Effects of density regulation on timber assortment structure and economic benefits of middle-aged *Mytilaria laosensis* plantations［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(4): 82−91.

Effects of density regulation on timber assortment structure and economic benefits of middle-aged *Mytilaria laosensis* plantations

Tang Jixin[1,2,3]　Chen Dongcheng[1]　Pan Qilong[1]　Liu Heng[1]　Jiang Zhilin[1]
(1. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China;
2. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem National Observation and Research Station, Pingxiang 532600, Guangxi, China;
3. Youyiguan Forest Ecosystem Observation and Research Station of Guangxi, Pingxiang 532600, Guangxi, China)

Abstract: ［**Objective**］ This paper analyzes the influence of density regulation on timber assortment structure and economic benefits of middle-aged *Mytilaria laosensis* plantations, so as to provide a scientific

收稿日期: 2024−06−26　**修回日期:** 2024−07−18
基金项目: 中国林业科学研究院热带林业实验中心科学基金项目（RL-2020-02），国家重点研发计划子课题（2023YFD2200901-01）。
作者简介: 唐继新，博士，副研究员。主要研究方向：森林经理，木材利用。Email：tangjixin999@126.com　地址：532600 广西凭祥市中国林业科学研究院热带林业实验中心。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

basis for management decisions. [**Method**] Two mature *M. laosensis* plantations in the southern subtropical region of Guangxi, southern China, including Shaoping experimental forest, which had undergone density regulation strategy mode I (one thinning, resulting in a stem density of about 1200 plants per hectare), and the Qingshan experimental forest, which had undergone density regulation strategy mode II (three thinnings, resulting in a post-thinning stand density of 520 plants per hectare), were selected as research subjects. In each stand, 14 trees of different diameter classes were felled for stem analysis. The central sectional area formula was used to calculate the yield of each timber assortment, and the replacement cost method was employed to analyze economic benefits of different stands. [**Result**] (1) Significant differences were observed in the non-cumulative yields of small- and medium-diameter timber between mode I and mode II ($P < 0.05$). (2) From the 25th year, the cumulative yield of small-diameter timber in mode II was lower than in mode I. From the 21st year, the cumulative yields of medium- and large-medium-diameter timber in mode II were higher than in mode I, although these differences were not statistically significant ($P > 0.05$). (3) The cumulative yield patterns of different timber assortments in mode I and mode II stands exhibited similar trends. Specifically, the cumulative yield of small-diameter timber increased with age, then slightly decreased, and finally tend to stabilize. The cumulative yield of medium-diameter timber increased with age, then stabilized. The cumulative yields of large- and large-medium-diameter timber increased with age. (4) For the production of small and medium-diameter wood, the optimal rotation period for mode I was 17−19 years, and for mode II, it was 17−21 years. The economic benefits between the two modes were not significantly different. However, when the primary objective was the production of large-medium-diameter wood, from the 23rd year onwards, the dynamic economic benefits of mode II were significantly higher than those of mode I ($P < 0.05$). The rotation period for mode II should ⩾ 26 years. [**Conclusion**] The density regulation measures of mode I and mode II do not significantly affect the cumulative yield and static economic benefits of different timber types in *M. laosensis* plantations. However, their impact on dynamic economic benefits is significant. The optimal management strategy for maximizing dynamic economic benefits in *M. laosensis* plantations for both mode I and mode II is to produce small and medium-sized timber. There is no significant difference in economic benefits between the two modes under this strategy. When the management goal shifts to producing large and medium-sized timber, the dynamic economic benefits of both modes decrease significantly with the increase in stand age. The mode I stands will incur losses, while mode II can still maintain a good level of profitability.

Key words: *Mytilaria laosensis*; density regulation; stem analysis; timber assortment structure; economic benefit

人工林是森林资源的重要组成部分，兼具木材生产、环境修复、景观营造和缓解气候变化等多重重要功能[1]。自 20 世纪 80 年代以来，我国通过大规模人工造林和再造林，实现了人工林面积与蓄积量的持续增长，其面积和增长速度均位居全球首位[2]。我国人工林建设尽管取得了显著成就，但仍存在一些问题。例如：树种结构相对单一，以松（*Pinus* spp.）、杉（*Cunninghamia* spp.）、桉（*Eucalyptus* spp.）、杨树（*Populus* spp.）等树种为主，导致了生态系统稳定性差、病虫害易发以及生态服务功能较弱等问题。人工林的质量和生态系统服务功能亟需进一步提升[3]。此外，随着天然林保护工程的实施，我国木材市场目前以小径材、针叶材、低质材和一般材为主，大径级优质阔叶材供应严重不足，未来将高度依赖进口。因此，基于适树适地原则，大力培育乡土珍优阔叶树种人工林，并优化我国人工林的树种和空间结构，是解决上述问题的关键措施。

林分密度调控（包括造林密度、间伐时间、间伐强度、间伐次数等）是优化林分结构、促进林木生长、提升林木质量和实现森林多重效益的重要技术手段。合理的林分密度调控直接关系到森林培育目标的实现，并影响森林的经济、生态和社会等多重效益[4−5]。为优化人工林结构与功能，提升其综合效益，国内外学者已针对人工林的密度调控开展了大量研究。然而，以往研究主要集中于松、杉、桉、杨等树种的人工林，重点探讨了密度调控对人工林生长、径级分布、林木形质、木材特性和生态功能等方面的影响[6−8]。相比之下，针对乡土珍优阔叶人工林密度调

控的研究仍较匮乏，尤其是关于密度调控对乡土珍优阔叶人工林材种结构和经济效益影响的研究较少，难以满足我国乡土珍优阔叶树种人工林大径材定向培育、经营决策优化的需求。

米老排（*Mytilaria laosensis*）为金缕梅科（Hamamelidaceae）壳菜果属（*Mytilaria*）常绿阔叶乔木，天然分布于中国的广东、广西和云南等地以及越南和老挝等区域[9]。作为南亚热带地区适生范围较广的多用途树种，米老排具有速生、树干通直、出材率高、天然更新潜力好等优良生长特性，同时兼具改良土壤、涵养水源以及固碳能力强等重要生态功能[10−12]。此外，其木材是一种优质的多用途原料，不仅可用于纸浆材和人造板的生产，还可作为高档胶合板材、实木家具和实木地板的优良原料[13−14]。目前，已有研究[1]关注密度调控对幼龄和中龄米老排人工林林分因子（如胸径、树高、材积、形数）生长过程的影响。然而，关于密度调控对米老排人工林材种结构和经济效益的影响，尚未见相关报道。材种结构是影响人工林经济效益的关键因素之一，也是森林经营中极为重要的指标。本研究以中国林业科学研究院热带林业实验中心（以下简称“热林中心”）内两种不同密度调控的成熟米老排人工林为研究对象，这两片林分的立地条件、年龄、造林密度和前期抚育措施相似，但在中龄阶段之后的间伐措施存在差异。通过分析密度调控措施对中龄米老排人工林材种结构和经济效益的影响，本研究旨在为中龄米老排人工林密度调控的经营决策提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区和试验林概况

研究区位于中国广西西南部的热林中心（106°40′20″ ~ 106°59′14″E，21°57′50″ ~ 22°19′29″N），气候属于南亚热带季风区，年均气温 20.5 ~ 21.5 ℃，≥10 ℃ 积温 6 000 ~ 7 500 ℃·d，极端最高气温 39.8 ℃，极端最低气温−1.5 ℃；年降水量 1 400 mm，年蒸发量 1 260 mm，相对湿度 80% ~ 84%，全年日照时间 1 200 ~ 1 300 h。试验林选取了热林中心青山实验场 16 林班和哨平实验场 39 林班的两片米老排人工林，其立地条件、种苗来源、造林年龄、造林密度和前期抚育措施均较为相似。从第 12 年起，哨平试验林（SP）实施密度调控模式Ⅰ，青山试验林（QS）实施密度调控模式Ⅱ。其中，密度调控模式Ⅰ林分进行了 1 次间伐（第 12 年），密度调控模式Ⅱ林分进行了 3 次间伐（第 12 年、17 年和 27 年）。两片试验林的具体林分信息详见表 1。

1.2 样木选择和树干解析

2015—2016 年期间，在上述 2 种不同密度调控模式下的米老排人工林中，各选取了 3 个具有代表性的样地进行调查，每个样地的面积为 600 ~ 667 m^2。基于样地每木检尺信息，根据树木的径阶分布状况，在不同林分中按照不同径阶分别伐取了 14 株标准木作为解析木，以 2 m 为区分段，采用中央断面区分求积法对所选标准木进行树干解析。不同试验林的径阶分布情况以及其解析木的具体信息详见表 2。

1.3 理论出材量统计和数据分析

不同试验林的各材种（小径材、中径材、大径材、规格材）理论出材量（包括非累计出材量和累计出材量）是基于林分密度、林木径阶分布和标准木树干解析数据计算得出的，并遵循“先造大材后造小材”的原则进行统计分析。其中，小径材、中径材、大径材和规格材分别指原木尾端直径为 4 ~ 18 cm、20 ~ 24 cm、≥26 cm 和≥4 cm 的材种。在相同林龄

表 1 不同密度调控模式下米老排人工林的基本信息

Tab. 1 Basic information of *Mytilaria laosensis* plantations under different density regulation modes

林分的环境因子与经营历史	密度调控模式Ⅰ哨平林分（SP）	密度调控模式Ⅱ青山林分（QS）
土壤类型	赤红壤	红壤
平均海拔/m	300	540
造林时间	1984年	1982年
造林密度/（株·hm^{-2}）	2 500	2 500
透光伐（第7年）后林分密度/（株·hm^{-2}）	1 650	1 650
第1次间伐（第12年）后林分密度/（株·hm^{-2}）	1 200	1 300
第2次间伐（第17年）后林分密度/（株·hm^{-2}）		900
第3次间伐（第27年）后林分密度/（株·hm^{-2}）		520
林分调查时间	2016年	2015年
调查年份林分平均密度/（株·hm^{-2}）	1 200.00 ± 197.16	520.00 ± 32.44
调查年份林分平均胸径/cm	23.39 ± 2.13	28.38 ± 0.86
调查年份林分平均树高/m	27.08 ± 1.71	26.60 ± 0.47

条件下，对于不同试验林的同种规格材种非累计出材量的比较，第 17 年的数据采用双侧 *t* 检验进行分析，第 17 年之后的数据则采用单侧 *t* 检验进行分析。此外，不同试验林的各材种累计出材量和经济效益的比较均采用双侧 *t* 检验进行分析。所有数据统计分析均通过数据处理系统软件（DPS 14.5）完成。其中，某材种非累计出材量为当年主伐某材种可出材量，某材种累计出材量为历年间伐某材种出材量和当年主伐某材种可出材量的加和。

1.4　经济效益评价

为剔除通胀因素（如物价、地租、劳力成本等）对米老排人工林经济效益分析的干扰，本研究采用更新重置成本法[9,15]，以热林中心 2011—2016 年米老排人工林的经营投资成本、木材价格以及广西地区的相关税费标准，作为不同密度调控米老排人工林经济效益分析的参考依据。此外，考虑到林木树干弯曲、分杈等缺陷以及伐倒木在造材过程中可能产生的损耗，本研究在经济效益分析时，以各林分理论出材量的 75% 作为经济效益测算依据。

1.4.1　经营投资成本

米老排试验人工林经营成本（表 3）主要包括以下几方面：一是造林费用；二是幼林期的抚育和病虫害防治费用，这部分主要集中造林后的前 3 年；三是造林后的护林、防火、道路维护和地租等年固定费用；四是伐区设计、采伐、造材、集材、运输、木材检尺等采运成本。

1.4.2　木材价格和相关税费

2011—2016 年，热林中心生产的 2 m 长米老排木材，根据原木尾端直径的不同（分别为 4 ~ 6 cm、8 ~ 12 cm、14 ~ 18 cm、≥20 cm），其平均售价分别为 398、486、616、720 元/m^3，木材的税费（“两金一费”）为木材售价的 10%。

1.4.3　经济分析指标和贴现率

采用静态和动态两种财务分析方法，通过静态指标（净利润、年均净利润）和动态指标（净现值、年均净现值、内部收益率）[15−16]，对米老排人工林的经济效益进行综合分析。鉴于林业为集生态效益、社会效益与经济效益于一体的特殊行业，本研究选取

表 2　不同密度调控试验林样地的林木径阶分布和解析木情况

Tab. 2　Diameter class distribution and analytic tree information in the experimental plantation plots under varied density regulation modes

径阶/cm	径阶株数占比/%		解析木株数		解析木平均胸径/cm		解析木平均树高/m	
	QS	SP	QS	SP	QS	SP	QS	SP
≤ 14	0.98	7.01	0	1		14.60		22.00
16	0.98	7.01	0	1		16.20		20.00
18	1.96	7.01	0	1		18.20		23.30
20	3.92	14.49	0	1		20.00		25.40
22	5.88	12.62	0	2		22.00		27.35
24	8.82	17.76	1	2	23.00	24.15	21.20	29.10
26	19.61	16.36	1	1	25.10	26.70	22.60	28.80
28	20.59	7.01	4	1	28.33	28.10	27.48	29.30
30	12.75	3.74	2	1	29.55	29.70	23.40	27.10
32	10.78	3.27	3	1	32.05	32.10	29.48	29.10
34	6.86	2.80	2	2	33.20	33.40	25.45	28.10
36	1.96	0.93	1	0	35.60		31.80	
38	3.92	1.40	0	0				
≥ 40	0.98	0	0	0				

表 3　米老排人工林经营投资成本

Tab. 3　Management and investment costs of *M. laosensis* plantations

项目	造林/（元·hm^{-2}）	抚育/（元·hm^{-2}·year^{-1}）	病虫害防治/（元·hm^{-2}·year^{-1}）	年固定成本/（元·hm^{-2}·year^{-1}）	透光伐/（元·hm^{-2}）	采运成本/（元·m^{-3}）
费用	6 105	1 260	150	1 200	975	120

8% 作为项目投资的贴现率[15]。

2 结果与分析

2.1 不同材种非累计理论出材量

2.1.1 小径材

米老排小径材直径范围为 4 ~ 18 cm。表 4 显示：在相同林龄条件下，从第 19 年起，QS 试验林 4 ~ 6 cm 材种的非累计出材量在绝大多数年份均低于 SP 试验林，且在第 22 ~ 33 年间的绝大多数年份，两试验林差异显著（$P < 0.05$）；从第 18 年起，QS 试验林 8 ~ 12 cm 材种的非累计出材量均低于同林龄 SP 试验林，且在第 21 ~ 33 年间的大多数年份，两试验林差异显著（$P < 0.05$）；自第 18 年起，QS 试验林 14 ~ 18 cm 材种的非累计出材量显著低于 SP 试验林（$P < 0.05$）；在第 18 ~ 33 年的绝大多数年份中，QS 试验林 4 ~ 18 cm 材种的非累计出材量均显著低于 SP 试验林（$P < 0.05$）。

2.1.2 大中径材

米老排中径材直径范围为 20 ~ 24 cm，大径材直径范围为≥26 cm，大中径材直径范围为≥20 cm。表 4 表明：在第 17 ~ 20 年间，QS 试验林中径材的非累计出材量均低于 SP 试验林，但在第 21 ~ 27 年间，QS 试验林的中径材均高于 SP 试验林。在第 3 次间伐作业的次年（第 28 年），QS 试验林中径材非累计出材量的降幅明显，且在第 29 ~ 33 年，QS 试验林中径材的非累计出材量显著低于 SP 试验林（$P < 0.05$）。尽管在第 2 次（第 17 年）、第 3 次（第 27 年）间伐作业后期的部分年份（第 24、25、27、32、33 年），QS 试验林的大径材非累计出材量高于 SP 试验林，但在第 17 ~ 33 年间，两试验林大径材非累计出材量的差异均不显著（$P > 0.05$）。在第 22 ~ 27 年间，QS 试验林大中径材的非累计出材量高于 SP 试验林，但在第 3 次间伐作业后，QS 试验林的大中径材的非累计出材量低于 SP 试验林。

2.1.3 规格材

米老排规格材直径范围为≥4 cm。在第 18 ~ 33 年间，QS 试验林规格材材种的非累计出材量均低于 SP 试验林，但仅在第 18 ~ 22 年和第 28 ~ 33 年期间，QS 试验林规格材非累计出材量显著低于 SP 试验林（$P < 0.05$）（表 4）。

2.2 不同材种累计理论出材量

2.2.1 小径材

从第 17 年起，不同试验林 4 ~ 6 cm 材种的累计出材量在不同林龄间均有一定的变化，但整体波动幅度较小；在第 22 ~ 33 年间，QS 试验林 4 ~ 6 cm 材种的累计出材量普遍低于 SP 试验林（图 1A）。在第 25 ~ 33 年间，QS 试验林 8 ~ 12 cm 材种的累计出材量均低于 SP 试验林；不同试验林 8 ~ 12 cm 材种累计出材量年变化趋势略有不同，QS 试验林呈先递减后趋于稳定的特点，而 SP 试验林则大致表现为先随林龄递增，随后围绕某一区间值小幅波动（图 1B）。从第 27 年起，QS 试验林 4 ~ 18 cm 材种的累计出材量略低于 SP 试验林（图 1D）。总体而言，在第 17 ~ 33 年间，不同试验林的 14 ~ 18 cm 和 4 ~ 18 cm 材种年变化规律基本相似，即先随林龄的增长而递增，然后小幅递减，最后再围绕某一数值小幅波动（图 1C、图 1D）。

2.2.2 大中径材

不同试验林中径材累计出材量的年变化规律较为相似，均先随林龄增长而增长，然后再稳定在某一区间内小幅波动。在第 21 ~ 31 年间，QS 试验林的 20 ~ 24 cm 材种的累计出材量均高于 SP 试验林（图 2A）。与中径材类似，不同试验林的大径材累计出材量从某一特定林龄开始（QS 和 SP 试验林大径材出现的起始林龄分别为第 23 年和第 20 年），总体上随林龄增加而递增；从第 24 年起，在绝大多数的年份内（除了第 26 年）QS 试验林大径材的累计出材量均高于 SP 试验林，且随着林龄的增加，不同试验林累计大径材的差异逐渐增大（图 2B）。不同试验林的大中径材累计出材量的年变化规律也较为类似，也随林龄的增长而递增；从第 21 年起，QS 试验林大中径材的累计出材量高于 SP 试验林（图 2C）。

2.2.3 规格材

在第 17 ~ 33 年间，不同试验林的规格材均随着林龄的增加呈递增趋势，QS 试验林规格材材种的累计出材量均高于 SP 试验林（图 3）。

2.3 不同密度调控试验林的经济效益分析

经济效益分析过程中，分别选用静态指标（净利润、年均净利润）和动态指标（净现值、年均净现值、内部收益率）。表 5 显示：在当前米老排木材价格和生产经营成本条件下，若不考虑资本的时间价值，米老排人工林的静态利润会随着林龄的增长而逐年增加，第 34 年 QS 试验林净利润最大，为 184 995.3 元/hm^2，第 33 年 SP 试验林净利润最大，为 170 260.5 元/hm^2。不同试验林的年均净利润变化规律不同，QS 试验林的年均净利润随着林龄的增长呈现出先增加后减少的趋势，而 SP 试验林的年均净利润则持续随林龄增长而增加，QS 试验林的年均净利润在第 26 年达到最高值；从第 17 年起，尽管 QS 试验林的净利润和年均净利润均高于 SP 试验林的对应值，但两试验林之间的差异均不显著（$P > 0.05$）。

从第 17 年起，不同试验林的净现值均随林龄增

表 4　不同密度调控试米老排人工林各材种的非累计理论出材量　　m^3/ha

Tab. 4　Non cumulative theoretical yield of various timber assortments of *M. laosensis* plantations under different density regulation modes　　m^3/hm^2

林龄/a	试验林	伐后林分密度/（株·hm^{-2}）	直径/cm							
			4 ~ 6	8 ~ 12	14 ~ 18	4 ~ 18	20 ~ 24	≥ 26	≥ 20	≥ 4
17	QS	900	11.06 ± 1.55	82.72 ± 6.41	159.84 ± 22.20	253.62 ± 17.00	34.74 ± 15.42	0	34.74 ± 15.42	288.36 ± 29.69
	SP	1 200	10.84 ± 1.48	67.24 ± 13.29	144.50 ± 4.41	222.58 ± 17.08	37.83 ± 25.20	0	37.83 ± 25.20	260.41 ± 8.13
18	QS	900	10.29 ± 0.31	52.48 ± 6.80	122.54 ± 14.13**	185.30 ± 8.79**	36.22 ± 15.79	0	36.22 ± 15.79	221.53 ± 23.70**
	SP	1 200	9.94 ± 2.11	66.89 ± 14.00	160.97 ± 5.69**	237.80 ± 20.57**	44.31 ± 28.82	0	44.31 ± 28.82	282.11 ± 8.26**
19	QS	900	7.42 ± 1.84	54.16 ± 1.62	132.18 ± 12.53*	193.76 ± 10.42*	46.88 ± 16.43	0	46.88 ± 16.43	240.64 ± 25.90**
	SP	1 200	10.87 ± 3.01	65.10 ± 13.81	159.93 ± 11.16*	235.9 ± 26.60*	67.18 ± 34.94	0	67.18 ± 34.94	303.08 ± 8.34**
20	QS	900	8.06 ± 1.88	55.69 ± 3.67	124.56 ± 9.80**	188.31 ± 8.62*	72.98 ± 19.54	0	72.98 ± 19.54	261.29 ± 27.85**
	SP	1 200	10.32 ± 2.37	74.65 ± 17.70	156.35 ± 8.24**	241.32 ± 27.72*	79.65 ± 32.72	3.15 ± 3.40	82.80 ± 35.55	324.12 ± 7.87**
21	QS	900	9.82 ± 1.87	44.22 ± 2.52*	142.52 ± 6.04*	196.56 ± 8.39*	88.65 ± 21.90	0	88.65 ± 21.90	285.21 ± 27.67*
	SP	1 200	9.19 ± 1.78	80.14 ± 20.59*	164.96 ± 12.15*	254.28 ± 34.13*	86.46 ± 37.68	3.27 ± 3.53	89.73 ± 40.62	344.02 ± 6.57*
22	QS	900	5.26 ± 1.07*	51.65 ± 3.52	139.43 ± 6.13**	196.34 ± 7.38*	107.96 ± 26.33	0	107.96 ± 26.33	304.30 ± 31.19*
	SP	1 200	11.03 ± 2.84*	73.96 ± 21.16	180.59 ± 14.27**	265.57 ± 37.24*	92.68 ± 40.21	3.40 ± 3.66	96.08 ± 43.20	361.66 ± 6.02*
23	QS	900	5.74 ± 0.63**	51.27 ± 0.99	145.04 ± 7.04*	202.05 ± 7.65	118.60 ± 28.72	5.80 ± 3.17	124.40 ± 29.89	326.45 ± 33.51
	SP	1 200	12.10 ± 2.26**	74.17 ± 21.11	178.41 ± 18.97*	264.67 ± 41.25	103.68 ± 38.98	9.30 ± 10.03	112.98 ± 47.02	377.66 ± 5.88
24	QS	900	6.82 ± 0.59*	42.79 ± 3.30	149.97 ± 7.59*	199.58 ± 10.64*	123.14 ± 26.41	24.94 ± 11.01	148.08 ± 33.29	347.66 ± 35.69
	SP	1 200	10.26 ± 2.32*	69.62 ± 19.56	193.10 ± 25.91*	272.98 ± 46.65*	112.34 ± 43.80	9.65 ± 10.41	121.99 ± 51.88	394.97 ± 5.43
25	QS	900	6.52 ± 0.59	39.00 ± 3.08*	147.49 ± 14.31*	193.01 ± 12.76*	151.76 ± 34.03	26.06 ± 11.52	177.82 ± 41.22	370.83 ± 37.65
	SP	1 200	11.20 ± 3.20	74.8 ± 20.17*	186.30 ± 23.32*	272.31 ± 45.67*	116.63 ± 35.53	22.57 ± 15.79	139.20 ± 51.28	411.50 ± 5.88
26	QS	900	7.28 ± 0.82*	41.26 ± 3.07*	149.46 ± 14.59*	198.01 ± 13.28*	163.86 ± 33.97	30.81 ± 13.39	194.68 ± 44.34	392.67 ± 39.33
	SP	1 200	12.89 ± 3.70*	75.48 ± 19.99*	186.28 ± 25.24*	274.66 ± 47.51*	121.82 ± 29.06	32.14 ± 24.43	153.96 ± 53.36	428.61 ± 6.28
27	QS	520	6.84 ± 0.99**	42.99 ± 2.69*	142.07 ± 16.94*	191.91 ± 16.16*	161.60 ± 28.73	48.85 ± 20.84	210.45 ± 42.78	402.35 ± 34.89
	SP	1 200	13.95 ± 3.10**	81.13 ± 21.87*	186.08 ± 23.22*	281.16 ± 47.05*	129.28 ± 25.80	35.86 ± 27.83	165.14 ± 53.35	446.30 ± 6.78
28	QS	520	3.21 ± 0.06*	23.62 ± 1.06*	76.66 ± 5.92**	103.49 ± 6.51*	119.39 ± 14.54	30.59 ± 13.05	149.98 ± 24.98	253.47 ± 22.93**
	SP	1 200	13.36 ± 4.16*	71.23 ± 20.88*	185.55 ± 28.26**	270.15 ± 51.02*	153.02 ± 26.81	39.54 ± 31.29	192.56 ± 57.70	462.70 ± 7.39**
29	QS	520	4.15 ± 0.56*	23.95 ± 0.36*	83.46 ± 5.77**	111.56 ± 6.43*	115.71 ± 13.65*	40.8 ± 14.95	156.51 ± 26.54	268.07 ± 24.95**
	SP	1 200	14.01 ± 4.18*	72.51 ± 22.19*	191.1 ± 28.79**	277.62 ± 53.24*	152.02 ± 21.32*	49.31 ± 40.17	201.34 ± 60.51	478.95 ± 7.81**
30	QS	520	3.89 ± 0.73**	25.58 ± 0.66*	78.38 ± 6.24**	107.85 ± 7.35*	117.97 ± 13.27*	56.03 ± 17.88	174.00 ± 28.37	281.85 ± 26.32**
	SP	1 200	12.82 ± 3.10**	77.53 ± 25.03*	192.94 ± 31.03**	283.29 ± 56.78*	154.10 ± 22.22*	57.75 ± 43.14	211.84 ± 65.10	495.14 ± 8.81**
31	QS	520	4.63 ± 0.81**	24.49 ± 0.60*	75.81 ± 8.65**	104.93 ± 9.93*	130.47 ± 15.74*	59.71 ± 19.49	190.18 ± 32.39	295.11 ± 27.73**
	SP	1 200	11.41 ± 2.54**	78.31 ± 23.81*	174.16 ± 35.85**	263.88 ± 59.15*	188.48 ± 24.34*	59.58 ± 44.57	248.06 ± 68.57	511.94 ± 9.94**
32	QS	520	3.53 ± 0.09*	24.15 ± 2.44*	73.76 ± 4.24**	101.44 ± 6.40*	133.59 ± 10.53**	72.78 ± 22.48	206.38 ± 30.27	307.81 ± 29.08**
	SP	1 200	12.11 ± 3.56*	76.5 ± 21.53*	175.59 ± 35.5**	264.2 ± 59.12*	204.05 ± 23.52**	61.40 ± 46.03	265.45 ± 69.2	529.65 ± 10.53**
33	QS	520	3.93 ± 0.56*	22.37 ± 1.16*	77.81 ± 6.18**	104.11 ± 5.68*	133.16 ± 8.82**	82.82 ± 24.86	215.98 ± 32.05	320.09 ± 30.12**
	SP	1 200	12.63 ± 3.51*	76.92 ± 21.53*	184.6 ± 37.6**	274.15 ± 60.73*	203.77 ± 18.69**	69.83 ± 53.47	273.61 ± 71.77	547.75 ± 11.38**
34	QS	520	3.79 ± 1.00	22.25 ± 1.24	79.39 ± 7.56	105.43 ± 7.34	128.44 ± 7.33	98.65 ± 28.08	227.09 ± 34.00	332.52 ± 31.31

注：QS试验林第17、27年的非累计出材量分别包含当年林分的间伐材80.51、160.83 m^3/hm^2，表内数据为均值 ± 标准差；*与**分别表示在相同林龄下，不同试验林同一指标差异显著（$P < 0.05$）和极显著（$P < 0.01$）。下同。

长呈现出先增加后减少的变化规律。其中，QS 试验林的最大净现值为 9 958.4 元/hm^2，出现在第 21 年；SP 试验林的最大净现值为 6 507.6 元/hm^2，出现在第 19 年。从第 17 年起，不同试验林的年均净现值均随林龄增长而递减，QS 与 SP 试验林的最大年均净现值分别为 511.6 和 373.3 元/hm^2。内部收益率的变化规律与年均净现值类似，随着林龄的增加呈递减趋势，QS 与 SP 试验林的内部收益率最大值均出现在第 17 年，分别为 10.9% 和 10.2%。从第 17 年起，QS 试验林的内部收益率、净现值和年均净现值均高于 SP 试验林，但不同试验林的内部收益率、净现值、年均净现值的差异分别从第 23、24、25 年开

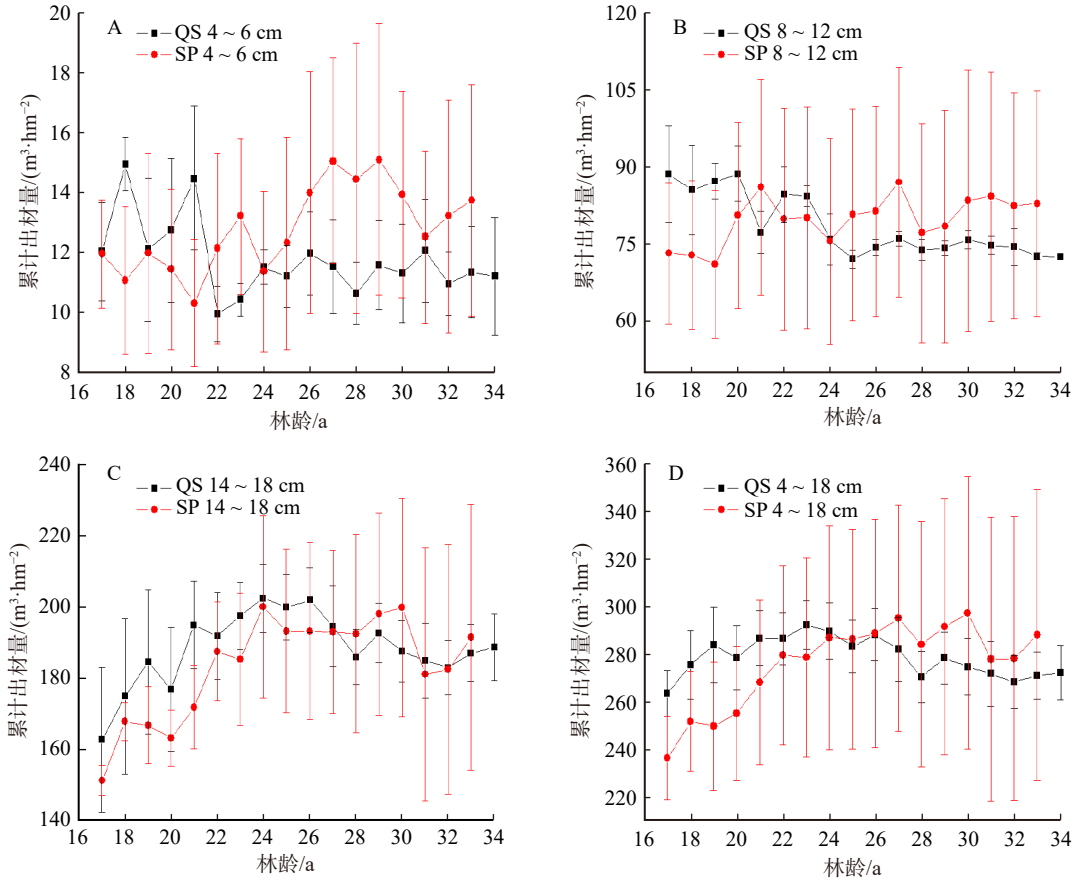


图 1 不同密度调控试验林小径材理论累计出材量

Fig. 1 Theoretical cumulative yield of small diameter timber in experimental forests under different density regulation modes

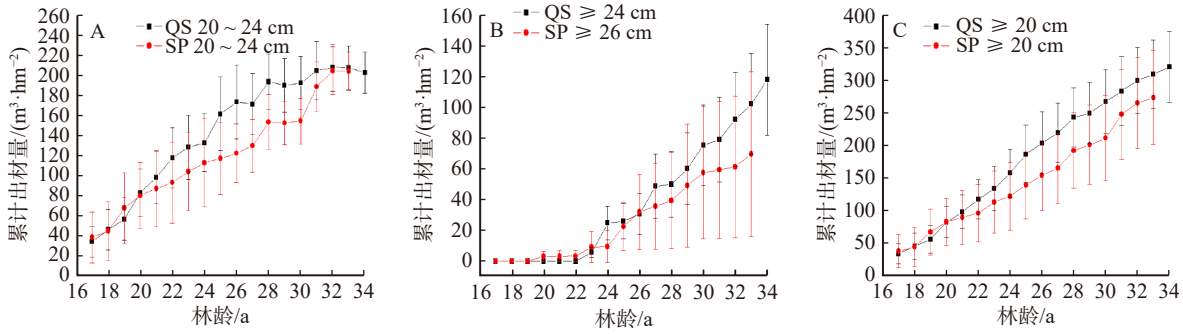


图 2 不同密度调控试验林大中径材理论累计出材量

Fig. 2 Theoretical cumulative yield of middle and large diameter timber in experimental forests under different density regulation modes

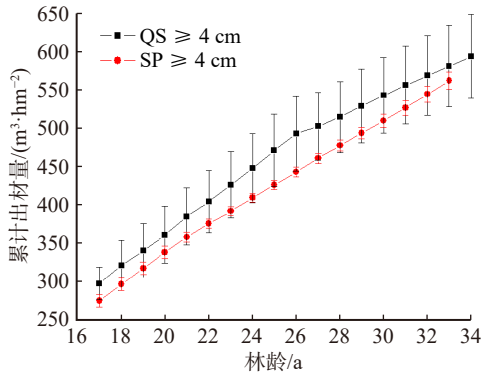


图 3 不同密度调控试验林规格材理论累计出材量

Fig. 3 Theoretical cumulative yield of experimental forest specifications under different density regulation modes

始显著($P < 0.05$)。从第 22 年起，随着林龄的增长，两种林分的动态经济效益均显著下降。其中，模式Ⅰ林分自第 28 年起开始亏损，而模式Ⅱ林分仍能保持较好的盈利水平。

综上所述，静态指标分析表明，米老排人工林的净利润均呈线性递增趋势，但密度调控模式Ⅰ(SP 试验林)与模式Ⅱ(QS 试验林)的净利润和年均净利润在统计学上均未达到显著性水平($P > 0.05$)。该结果验证了在传统经营模式下，通过延长培育周期获取更高静态收益的可行性。动态指标分析结果则与静态指标分析结果明显不同。在整个分析的经营周期(第 17 ~ 34 年)中，若以最大净现值作为人工林的

表 5　不同密度调控米老排人工林投资收益的时间序列分析

Tab. 5　Time series analysis of investment income of *M. laosensis* plantations under different density regulation modes

林龄/a	试验林	净利润/(元·hm^{-2})	年均净利润/(元·hm^{-2})	净现值/(元·hm^{-2})	年均净现值/(元·hm^{-2})	内部收益率/%
17	QS	72 925.6 ± 12 329.8	4 289.7 ± 725.3	8 697.1 ± 3 609.7	511.6 ± 212.4	10.9 ± 1.0
	SP	64 692.6 ± 6 576.7	3 805.4 ± 386.9	6 346.0 ± 1 937.9	373.3 ± 114.0	10.2 ± 0.6
18	QS	79 736.5 ± 14 076.8	4 429.8 ± 782.0	9 015.3 ± 3 899.2	500.8 ± 216.6	10.8 ± 1.0
	SP	72 225.8 ± 7 139.6	4 012.6 ± 396.7	6 403.8 ± 1 950.7	355.8 ± 108.3	10.1 ± 0.5
19	QS	86 784.6 ± 14 858.1	4 567.6 ± 782.0	9 208.8 ± 3 890.3	484.7 ± 204.7	10.7 ± 0.9
	SP	80 658.9 ± 7 735.8	4 245.2 ± 407.1	6 507.6 ± 1 959.6	342.5 ± 103.2	10.0 ± 0.5
20	QS	95 046.1 ± 15 889.3	4 752.3 ± 794.5	9 516.3 ± 3 925.7	475.8 ± 196.3	10.7 ± 0.9
	SP	87 664.8 ± 7 904.5	4 383.2 ± 395.2	6 094.5 ± 1 857.6	304.7 ± 92.9	9.7 ± 0.5
21	QS	104 798.2 ± 15 828.8	4 990.4 ± 753.8	9 958.4 ± 3 705.9	474.2 ± 176.5	10.6 ± 0.8
	SP	94 054.0 ± 7 981.6	4 478.8 ± 380.1	5 438.8 ± 1 740.7	259.0 ± 82.9	9.5 ± 0.4
22	QS	112 228.8 ± 17 472.0	5 101.3 ± 794.2	9 732.5 ± 3 842.8	442.4 ± 174.6	10.5 ± 0.8
	SP	100 213.7 ± 8 191.9	4 555.2 ± 372.4	4 665.5 ± 1 657.7	212.0 ± 75.3	9.2 ± 0.4
23	QS	120 510.0 ± 18 454.0	5 239.5 ± 802.3	9 552.9 ± 3 823.2	415.3 ± 166.2	10.3 ± 0.8*
	SP	106 086.3 ± 8 300.9	4 612.5 ± 360.9	3 788.4 ± 1 559.2	164.7 ± 67.8	8.9 ± 0.4*
24	QS	129 694.9 ± 19 533.6	5 404.0 ± 813.9	9 411.2 ± 3 808.4*	392.1 ± 158.7	10.2 ± 0.7*
	SP	112 777.4 ± 8 328.7	4 699.0 ± 347.0	3 019.2 ± 1 452.1*	125.8 ± 60.5	8.7 ± 0.3*
25	QS	139 850.6 ± 20 591.9	5 594.0 ± 823.6	9 302.1 ± 3 777.7*	372.1 ± 151.1*	10.1 ± 0.7*
	SP	118 412.4 ± 8 639.8	4 736.5 ± 345.6	2 041.0 ± 1 397.9*	81.7 ± 55.9*	8.5 ± 0.3*
26	QS	147 752.7 ± 21 613.5	5 682.8 ± 831.3	8 739.4 ± 3 731.5*	336.1 ± 143.6*	9.9 ± 0.7*
	SP	124 387.2 ± 8 916.1	4 784.1 ± 343.0	1 105.0 ± 1 339.0*	42.5 ± 51.5*	8.3 ± 0.3*
27	QS	151 286.0 ± 19 786.6	5 603.2 ± 732.8	7 529.3 ± 3 290.9*	278.8 ± 121.9*	9.6 ± 0.6*
	SP	129 913.4 ± 9 199.9	4 811.6 ± 340.7	100.0 ± 1 282.5*	3.7 ± 47.5*	8.0 ± 0.3*
28	QS	156 734.3 ± 20 565.3	5 597.6 ± 734.5	7 244.7 ± 3 293.7**	258.8 ± 117.6*	9.6 ± 0.6**
	SP	138 018.2 ± 9 683.4	4 929.2 ± 345.8	−575.0 ± 1 252.6**	−20.5 ± 44.7*	7.9 ± 0.3**
29	QS	161 288.0 ± 21 533.7	5 561.6 ± 742.5	6 815.9 ± 3 309.7**	235.0 ± 114.1*	9.5 ± 0.6**
	SP	143 314.0 ± 10 285.1	4 941.8 ± 345.7	−1 612.0 ± 1 233.6**	−55.6 ± 42.5*	7.7 ± 0.3**
30	QS	166 460.0 ± 22 185.0	5 548.7 ± 739.5	6 435.9 ± 3 282.2**	214.5 ± 109.4*	9.4 ± 0.6**
	SP	148 655.6 ± 11 087.6	4 955.2 ± 369.6	−2 623.0 ± 1 232.6**	−87.4 ± 41.1*	7.5 ± 0.3**
31	QS	171 433.5 ± 23 074.5	5 530.1 ± 744.3	6 013.6 ± 3 275.2**	194.0 ± 105.6**	9.3 ± 0.6**
	SP	156 689.4 ± 11 508.1	5 054.5 ± 371.2	−3 343.5 ± 1 187.2**	−107.9 ± 38.3**	7.3 ± 0.3**
32	QS	176 443.1 ± 23 464.1	5 513.9 ± 733.2	5 580.4 ± 3 216.5**	174.4 ± 100.5**	9.2 ± 0.6**
	SP	163 494.7 ± 11 866.0	5 109.2 ± 370.8	−4 191.7 ± 1 136.1**	−131.0 ± 35.5**	7.2 ± 0.2**
33	QS	180 668.7 ± 23 818.2	5 474.8 ± 721.7	5 070.2 ± 3 156.6**	153.7 ± 95.7**	9.0 ± 0.6**
	SP	170 260.5 ± 13 611.2	5 159.4 ± 412.5	−5 035.0 ± 1 205.3**	−152.6 ± 36.5**	7.0 ± 0.3**
34	QS	184 995.3 ± 24 456.5	5 441.1 ± 719.3	4 571.5 ± 3 121.0	134.4 ± 91.8	8.9 ± 0.6

经济成熟指标，密度调控模式Ⅱ相较模式Ⅰ的经济效益提高了 3 440.8 元/hm^2；若以最大年均净现值为指标，模式Ⅱ的经济效益提高了 138.3 元/hm^2；若以最大内部收益率作为人工林的经济成熟指标，模式Ⅱ的收益率提高了 0.7%。总体而言，若以生产中小径材为经营目标，模式Ⅰ与模式Ⅱ林分的最佳轮伐期分别为 17 ~ 19 年和 17 ~ 21 年，两林分的经济效益差异不显著；若以大中径材为主要经营目标(大中径材非累计出材量占比高于 50%)，从第 23 年起模式Ⅱ林分的动态经济效益显著高于模式Ⅰ($P < 0.05$)，且模式Ⅱ林分的轮伐期应不低于 26 年。这些结果为米老排人工林的密度调控提供了科学依据。

3　讨　　论

在立地、气候、种苗、造林密度和抚育措施等基本条件一致的前提下，米老排密度调控模式Ⅰ(中龄阶段经历一次间伐，简称“模式Ⅰ”)与密度调控模式Ⅱ(中龄阶段经历三次间伐，简称“模式Ⅱ”)林分

之间的小径材和中径材的非累计出材量存在显著差异($P < 0.05$)。从第 25 年起，模式Ⅱ林分的小径材累计出材量低于模式Ⅰ；而从第 21 年开始，模式Ⅱ林分的中径材和大中径材的累计出材量均高于模式Ⅰ，但两种林分间各材种累计出材量的差异均未达到显著水平($P > 0.05$)。该研究结果与杉木林密度调控对中径材影响的研究结果[17]相似，但与其密度调控对大径材和小径材影响的结果(林分大径材材积随间伐强度增加而显著增加，小径材则相反)不同。上述结果差异的原因，可能与不同研究林分密度调控范围的差异有关，本研究不同林分生长伐后的林分密度为每公顷 520 ~ 1 200 株，而张水松等[17]研究林分生长伐后密度为每公顷 1 705 ~ 2 480 株，且其各处理林分在试验期间均已出现了立木枯损，其林木间的生长竞争更为激烈。此外，也与不同研究各材种统计方法的系统误差有关，本研究各材种的统计方法为样木树干解析法，而张水松等[17]研究各材种的材积统计则基于“经验公式法”[18]。

在本研究中，从第 21 年起，模式Ⅱ林分的累计大中径材产量开始高于模式Ⅰ林分，从第 23 年起，模式Ⅱ林分的动态经济效益显著优于模式Ⅰ林分($P < 0.05$)。该结果表明：在米老排人工林的中龄阶段，合理的间伐措施能改善林分的空间结构，促进林木生长，并提高大中径材的累计产量。同时，间伐收入显著提升了林分的净现值、年均净现值和内部收益率等经济指标；相较于模式Ⅰ林分，模式Ⅱ林分培育大中径材的效率和经济效益更优。因此，鉴于乡土珍优树种人工林的培育周期较长，尤其是大径材的培育周期更长，为降低投资风险，尽早回收经营投资成本，提升人工林的经济效益，在中龄阶段及时开展间伐显得尤为关键。

在广西南亚热带 2011—2016 年的营林生产成本、木材价格(大中径材价格相同)、主伐年龄政策(速生阔叶树人工林主伐年龄≥16 年)和相同立地条件下，若以内部收益率和年均净现值最大化为评价指标，则米老排模式Ⅰ和模式Ⅱ林分的最佳轮伐期均为 17 年；若以净现值最大化为评价指标，模式Ⅰ和模式Ⅱ林分的最佳轮伐期分别为 19 年和 21 年。上述结果表明，若采用动态经济效益指标，米老排模式Ⅰ和模式Ⅱ林分的最佳轮伐期均低于 22 年。结合各材种的变化规律(表 4)可知，两模式林分生产的主要材种均为中小径材。然而，若经营目标是生产大中径材，以解决国内大中径材供需失衡的问题，则米老排模式Ⅱ林分的最佳轮伐期至少为 26 年，本研究中模式Ⅱ林分第 26 年及之后的净现值、年均净现值和内部收益率分别至少降低了 1 219 元/hm^2、175.5 元/hm^2 和 1.0%。显然，在对应的生产成本、木材价格和税费条件下，米老排人工林的大中径材培育并不具备经济优势。

人工林不仅在木材生产方面发挥重要作用，还在涵养水源、固碳释氧以及缓解气候变化等方面具有多重生态功能。森林多目标经营对于合理利用森林资源、改善人类生存环境以及应对气候变化具有极为重要的意义。然而，本研究仅聚焦于密度调控对米老排人工林经济效益的影响，尚未涉及密度调控对其生态功能的影响，存在一定的局限性。因此，未来的研究应当综合考虑更多的经济指标和生态指标，全面评估密度调控对人工林综合效益的影响。例如，可以引入碳汇经济效益、生物多样性保护等指标，系统地评价密度调控对米老排人工林生态系统服务功能的影响，从而为其森林多目标经营提供更科学的依据。此外，为解决我国乡土珍优大径材长期供需失衡的结构性问题，未来的研究还应拓展到其他乡土优阔叶树种。通过比较不同树种对密度调控的响应，可以为更多乡土珍优树种大径材培育为主导的多功能森林经营提供科学依据，进一步推动森林资源的可持续利用和生态环境的改善。

4 结　　论

结合生产成本、木材价格和税费条件，模式Ⅰ与模式Ⅱ的密度调控措施对米老排人工林不同材种(小径材、中径材、大径材及大中径材)的累计出材量和静态经济效益指标的影响不显著，但对其动态经济效益指标的动态变化影响显著。模式Ⅰ与模式Ⅱ米老排人工林的最优经营策略(动态经济效益最大)均为生产中小径材，两者在该策略下的经济效益无显著差别。然而，当生产大中径材时，随着林龄的增长，两种模式林分的动态经济效益均显著下降。其中，模式Ⅰ林分自第 28 年起开始亏损，而模式Ⅱ林分仍能保持较好的盈利水平，模式Ⅱ在生产大中径材目标时优于模式Ⅰ。

参 考 文 献

[1] 唐继新, 贾宏炎, 王科, 等. 密度调控对米老排中龄人工林生长的影响 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2019, 43(1): 45−53.
Tang J X, Jia H Y, Wang K, et, al. Effect of density regulation on growth of *Mytilaria laosensis* plantation with middle age[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2019, 43(1): 45−53.

[2] 刘世荣, 杨予静, 王晖. 中国人工林经营发展战略与对策: 从追求木材产量的单一目标经营转向提升生态系统服务质量和效益的多目标经营 [J]. 生态学报, 2018, 38(1): 1−10.

Liu S R, Yang Y J, Wang H. Development strategy and management countermeasures of planted forests in China: transforming from timber-centered single objective management towards multi purpose management for enhancing quality and benefits of ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(1): 1−10.

[3] 陈幸良, 巨茜, 林昆仑. 中国人工林发展现状、问题与对策 [J]. 世界林业研究, 2014, 27(6): 54−59.
Chen X L, Ju Q, Lin K L. Development status, issues and countermeasures of China's plantation[J]. World Forestry Research, 2014, 27(6): 54−59.

[4] 谌红辉, 方升佐, 丁贵杰, 等. 马尾松间伐的密度效应 [J]. 林业科学, 2010, 46(5): 84−90.
Chen H H, Fang S Z, Ding G J, et al. Thinning density effects on masson pine plantation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(5): 84−90.

[5] 于世川, 张文辉, 尤健健, 等. 抚育间伐对黄龙山辽东栎林木形质的影响 [J]. 林业科学, 2017, 53(11): 104−113.
Yu S C, Zhang W H, You J J, et al. Effect of thinning on *Quercus wutaishanica* tree form quality by the analytic hierarchy process in Huanglong Mountains[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2017, 53(11): 104−113.

[6] 尤健健. 抚育间伐对黄龙山油松林林木生长、形质与枯落物的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
You J J. Effects of thinning on the tree growth, stem form quality and litter of *Pinus tabuliformis* plantation in Huanglong Mountain [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2015.

[7] Kimberley M, McKinley R, Cown D, et al. Modelling the variation in wood density of New Zealand-grown Douglas-fir[J]. New Zealand Journal of Forestry Science, 2017, 47(1): 15.

[8] 霍常富, 王朋, 陈龙池, 等. 杉木人工林蓄积量和生态系统碳数量成熟龄的关系 [J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(9): 94−99.
Huo C F, Wang P, Chen L C, et al. Quantitative maturity age for stand volume and ecosystem carbon storage of *Cunninghamia lanceolata* plantation[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2018, 38(9): 94−99.

[9] 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 L H, Tang J X, Ming A G, et al. Economic benefit analysis of 28-year-old *Mytilaria laosensis* plantations in Daqingshan, Guangxi of China[J]. Forest Research, 2011, 24(6): 784−787.

[10] Ming A G, Jia H Y, Zhao J L, et al. Above- and below-ground carbon stocks in an indigenous tree (*Mytilaria laosensis*) plantation chronosequence in subtropical China[J]. PLoS One, 2014, 9(10): e109730.

[11] 庞圣江, 张培, 刘福妹, 等. 大青山林区米老排人工林伐桩萌芽更新研究 [J]. 西北林学院学报, 2016, 31(6): 153−156.
Pang S J, Zhang P, Liu F M, et al. Effects of varied diameter and height of stump on sprout regeneration of *Mytilaria laosensis* plantations in Daqingshan[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(6): 153−156.

[12] 唐继新, 贾宏炎, 曾冀, 等. 密度对米老排萌生幼龄林生长及直径分布的影响 [J]. 北京林业大学学报, 2018, 40(5): 46−54.
Tang J X, Jia H Y, Zeng J, et al. Effects of density on growth and diameter distribution of young coppice stands of *Mytilaria laosensis*[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2018, 40(5): 46−54.

[13] 孙旭高, 陶家璐, 谢微, 等. 米老排优树组培技术体系优化研究 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2024, 48(2): 69−78.
Sun X G, Tao J L, Xie W, et al. Optimization of the tissue culture technology system of *Mytilaria laosensis* trees[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2024, 48(2): 69−78.

[14] 庞正轰, 陈宗福, 陈晓龙, 等. 我国米老排研究进展 [J]. 广西林业科学, 2022, 51(4): 573−580.
Pang Z H, Chen Z F, Chen X L, et al. Research progress of *Mytilaria laosensis* in China[J]. Guangxi Forestry Science, 2022, 51(4): 573−580.

[15] 张程, 欧阳林男, 陈少雄. 3 种初植密度桉树林分生长、材种出材量及经济效益动态分析 [J]. 林业科学研究, 2021, 34(4): 58−65.
Zhang C, Ouyang L N, Chen S X. Dynamic analysis on economic benefit, growth and production of *Eucalypt* plantations with different initial densities[J]. Forest Research, 2021, 34(4): 58−65.

[16] 林卓, 吴承祯, 洪伟, 等. 杉木人工林碳汇木材复合经济收益分析及最优轮伐期确定: 基于时间序列预测模型 [J]. 林业科学, 2016, 52(10): 134−144.
Lin Z, Wu C Z, Hong W, et al. Economic benefits analysis of carbon sequestration and timber and determination of optimal rotation period for a *Cunninghamia lanceolata* plantation: based on time series models[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(10): 134−144.

[17] 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. 林业科学, 2005, 41(5): 56−65.
Zhang S S, Chen C F, Wu K X, et al. Growth effect of intermediate cuttings intensity experiment for twenty years in *Cunninghamia lanceolata*[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(5): 56−65.

[18] 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. 林业科学, 2006, 42(7): 37−46.
Zhang S S, Chen C F, Wu K X, et al. Studies on the timber assortment outturn and economic benefit of the intermediate cutting intensity for *Cunninghamia lanceolata* stands[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(7): 37−46.

(责任编辑　赵田芸
责任编委　臧润国)