

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.01.005

南亚热带杉木人工林材种结构长期立地与密度效应

郭光智^{1,3}, 段爱国^{1,2}, 张建国^{1,2*}, 廖树寿⁴

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 林木遗传育种国家重点实验室, 北京, 100091; 2. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 南京, 210037; 3. 潍坊市林业局, 山东 潍坊, 261041; 4. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥, 532600)

摘要: [目的] 揭示南亚热带杉木人工林材种发育的长期立地和密度动态效应规律。[方法] 以广西大青山 A (1 667 株·hm⁻²)、B (3 333 株·hm⁻²)、C (5 000 株·hm⁻²)、D (6 667 株·hm⁻²)、E (10 000 株·hm⁻²) 5 种初植密度、36 a 生杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 密度试验林为研究对象, 分析密度和立地影响下材种株数与材种材积分布的动态变化规律。[结果] 杉木林分小径材株数和材积比率在初期随林龄增长而递增, 达峰值后随林龄增长而减少, 初植密度越小、立地指数级越高, 减少速度越快; 中、大径材株数和材积比率随林龄增长而增加, 初植密度越小、立地指数级越高, 增速越快。18 立地指数级 D 及以下密度林分 28 a 生前中径材材积比例约 50%; 36 a 生时 A 密度林分大径材材积比例约 50%。16 立地指数级中低初植密度林分中径材材积比例均超过 45%, 且以 C 密度林分最高、约 48%; 36 a 生时 A 密度林分大径材材积比例超过 26%。14 立地指数级, A 密度林分中径材材积比例 24 a 生时达 44%, A、B、D 密度林分小径材材积分别于 12、18、24 a 生时达 83%、76%、69%。10 立地指数级 C、E 密度林分 36 a 生时小径材材积比例分别达 71%、61%。[结论] 杉木林材种形成与立地、密度和林龄关系密切, 立地质量具决定性作用, 而培育高规格材种时初植密度亦可成为关键限制因素。初植密度越低、立地指数越高, 越利于中、大径材形成。在杉木南带产区, 10 指数级立地短周期经营时只适宜培育小径材及小条木。14 指数级立地适宜培育中、小径材, 若以中径材为第一培育材种时初植密度宜低。16 指数级立地适宜培育中径材, 长周期经营时也可培育大径材, 但初植密度不宜超 1 667 株·hm⁻²。18 指数级立地中径材生产潜力很大, 但更宜培育大径材, 且初植密度宜控制在 A 密度, 轮伐期不宜低于 36 a。

关键词: 杉木; 材种结构; 密度效应; 立地效应; 南亚热带

中图分类号: S753.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)01-0035-09

国际上工业人工林培育往往基于遗传控制、立地控制、密度控制等 3 大控制技术, 实行生态系统管理。在盛炜彤^[1]提出的人工林育林技术体系中, 密度及立地控制起着基础且重要的作用。选择适宜的初植密度或保留密度, 可有效掌控林分空间竞争格局, 调整林木竞争态势, 调控林分生长过程^[2]。以往关于密度控制的研究多侧重于不同保留密度对林分水平蓄积、生物量及林下植被等的影响^[3-9]。

立地控制的相关研究主要反映在立地定性或数量化评价及指示性指标优势木平均高生长曲线簇^[1, 10]。

杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 是我国南方亚热带特有优良速生乡土用材树种^[11-12], 杉木林立地与密度效应研究开展较早, 主要集中在密度或立地控制下林分树高、胸径、材积、自然稀疏、生长模拟预测等响应研究^[13-16]。刘景芳和童书振对杉木中带、南带、北带林分材种结构的密度与

收稿日期: 2019-03-26 修回日期: 2019-06-27

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划课题“杉木速生材高效培育技术研究”(2016YFD0600302)、国家“十二五”科技计划课题“杉木速生丰产林定向培育技术研究”(2015BAD09B0101)、国家自然科学基金面上项目(31570619)

* 通讯作者: 张建国, 研究员, 主要研究方向: 森林培育。E-mail: zhangjg@caf.ac.cn

立地早期作用规律进行了系统分析^[17],发现造林密度及立地指数显著作用于杉木林材种分布。但已有研究多基于临时样地或林分生长的中幼龄阶段,且研究区域主要为中亚热带^[18],而在同样为杉木主产区的南亚热带,杉木林材种结构的长期密度与立地效应研究一直未见报道。鉴于此,基于广西凭祥36 a生杉木密度试验林定位观测数据,对其林分材种结构的密度与立地效应进行了研究,以期揭示南亚热带杉木林材种结构的长期密度与立地作用规律,为杉木林定向培育提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于广西凭祥市境内中国林业科学研究院热带林业实验中心伏波林场(106°43' E, 22°06' N),属北热带季风气候区,湿润半湿润气候。光热条件极好,降水充沛,但夏湿冬干。年平均气温19.9℃,年降水量1400 mm,年蒸发量1200 mm。海拔500 m,地貌主要为低山,坡度25~30°。土壤以发育在花岗岩等母质上的红壤为主,土层厚度大于1 m。林下植被主要有大沙叶(*Aporosa chinensis* (Champ.) Merr.)、桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk.)、金毛狗脊(*Cibotium barometz* (L.) J. Sm.)和铁线蕨(*Adiantum capillus-veneris* Linn.)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置 杉木密度试验林于1982年春采用广西当地种源1 a生杉木裸根苗营造,5种初植密度,分别为1 667、3 333、5 000、6 667、10 000株·hm⁻²(株行距分别为2.0 m×3.0 m、2.0 m×1.5 m、2.0 m×1.0 m、1.0 m×1.5 m、1.0 m×1.0 m,分别记为A、B、C、D、E)。采用随机区组排列,每个密度设置3块样地(A₁、A₂、A₃, B₁、B₂、B₃, C₁、C₂、C₃, D₁、D₂、D₃, E₁、E₂、E₃),共15块样地,每块样地面积600 m²。每个小区周围各栽植2行同密度的杉木作为保护带。

1.2.2 测树因子调查 在杉木固定样地内,对每株杉木挂牌记号,每年生长停止后调查。林分1982—1991年逐年调查,1991年后分别于1993、1994、1995、1997、1999、2003、2005、2007、2009、2015年进行了调查。3~4 a生时,每年测定每木树高;5~6 a生时,每年测定每木树高、胸

径、冠径及树高达1.3 m以上的胸径(D_{1.3});7 a生开始,每年测量每木树高、胸径、冠径及枝下高;10 a生开始,除检尺每木胸径外,每个小区改测50株树高、冠径和枝下高。在每个小区的上、中、下坡位各选2株优势木,将这6株优势木的平均高作为林分优势高,如上一观测年度选定的优势木枯死或缺失,则在其附近另择一株上层木作为替补;20 a生时,以6株优势木平均高作为小区立地指数级值,以2 m为1个树高级距,整化为立地指数级。截至2015年,连续定位测定至36 a生,期间未间伐。

1.2.3 数据分析处理 数据处理软件采用EXCEL、SPSS19,图形制作采用SigmaPlot10.0。胸径以2 cm为1个径阶,林分平均胸径采用林分断面面积平方平均直径,林分平均树高采用林分内测得树高的算术平均高。平均单株材积计算采用部颁杉木二元立木材积表经验式:

$$V_i = 0.000\ 058\ 777\ 042 \times D_i^{1.969\ 983\ 1} \times H_i^{0.896\ 4615\ 7}$$

平均单株材积乘以株数,即为小区材积,然后换算为每公顷总材积。总材积包含活立木材积、枯损木材积,又分别包括用材、薪材及废材,用材包括大径材(LT)、中径材(MW)、小径材(SW)和小条木(LNT)。

对于相同初植密度、相同立地指数级的林分,根据需要采取平均化处理。B₁和B₃的平均值B₁₋₃代表16立地指数级B密度,C₁和C₃的平均值C₁₋₃代表16指数级C密度。

参照材种的划分标准并结合推算经验公式^[17]:D_{1.3}≥26径阶为大径材,24径阶≥D_{1.3}≥18径阶为中径材,16径阶≥D_{1.3}≥10径阶为小径材,8径阶≥D_{1.3}≥6径阶为小条木,将各小区不同林龄林分大、中、小径材及小条木等各立木株数和径阶材积分别归并。参照林分立木材种按径阶大小的区分标准和过渡径阶的处理办法^[17],分别计算各径阶立木出材量,并按各材种进行归并。文中材种材积比例系在用材中比例。

2 结果与分析

2.1 10立地指数级不同初植密度林分材种株数与材积分布的密度效应

图1、图2分别描述了10立地指数级C₂、E₂材种株数及材积比例分布的动态变化。由图可

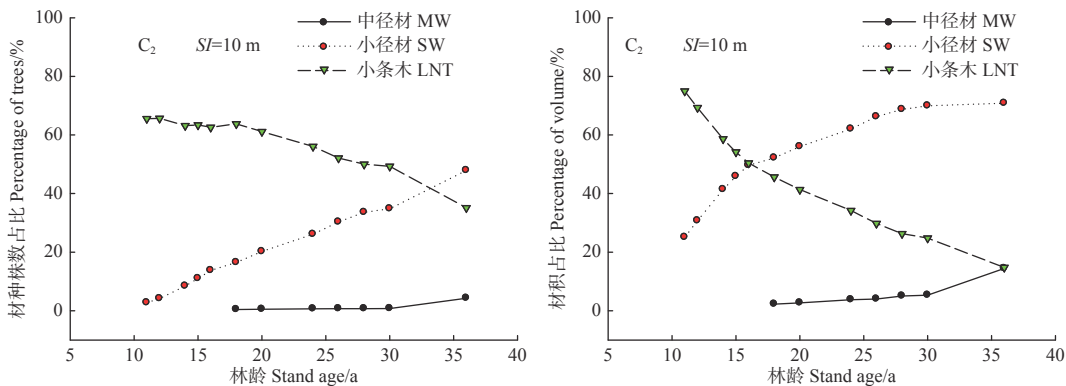


图 1 C₂ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 1 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of C₂ timber assortments

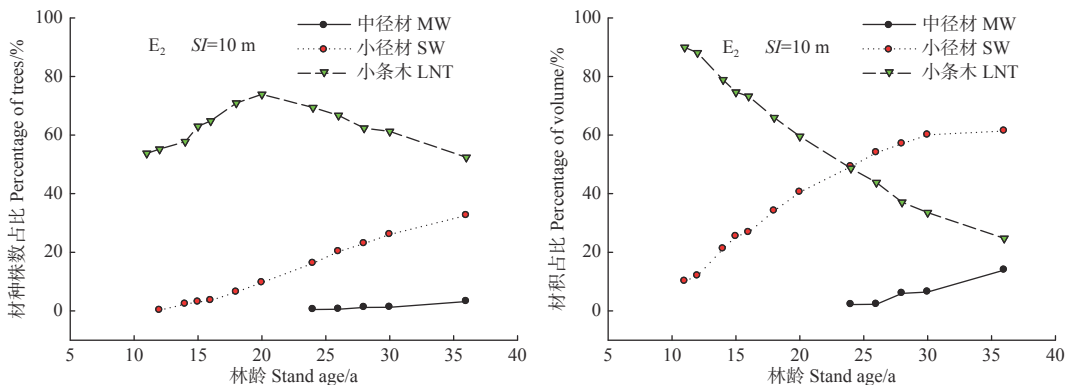


图 2 E₂ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 2 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of E₂ timber assortments

见, 11~36 a 生期间, C₂、E₂ 中、小径材株数与材积比例均随林龄增长而递增, 且小径材增长速度较快; C₂ 小条木株数与材积比例、E₂ 小条木材积比例一直呈下降趋势。C₂、E₂ 均未形成大径材, 中径材分别形成于 18 a、24 a 生。在林分生长后期, 林龄相同时, 小径材、小条木、中径材材积比例依次降低, 且 C₂ 小径材材积比例超过小条木材积比例的时间比 E₂ 早 8 a。36 a 生时, C₂、E₂ 小径材材积比例分别为 70.81%、61.35%, 中径材材积比例分别为 14.44%、13.89%。显然, 10 指数级立地短周期经营时只能培育小径材及小条木。

2.2 14 立地指数级不同初植密度林分材种株数与材积分布的密度效应

图 3、图 4、图 5 分别描述了 14 立地指数级 A、B、D 3 种初植密度林分材种株数及材积比例分布的动态变化。由图可见, A₁、B₂、D₃ 小条木株数与材积比例均随林龄增长而递减, 随密度增大而增加, 11 a 生时小条木株数比例分别为 36.0%、62.0%、66.6%, 至 36 a 生时分别降至 0、2.74%、

13.39%, 而材积比例则由 18.27%、45.13%、67.42% 分别降至 0、0.70%、3.25%。

小径材株数及材积比例均随林龄增长呈先增后降的趋势, A₁、B₂、D₃ 小径材株数比例分别于 14、28、28 a 生时达到峰值 67.00%、73.27%、58.17%, 之后下降, 36 a 生时分别微降至 49.06%、67.12%、54.33%; 其材积比例分别于 12、18、18 a 生时达到峰值 82.57%、75.87%、69.42%, 到 36 a 生时分别降至 29.15%、44.20%、45.17%。

中径材株数及材积比例均随林龄增长呈明显上升趋势, 均随初植密度增大而降低。A₁、B₂、D₃ 中径材分别形成于 11、14、18 a 生, 株数比例分别从 11 a 生时的 1.00%、0.51%、0.83% 增至 36 a 生时的 33.96%、26.03%、21.26%, 相应材积比例增幅大于株数比例, 分别由 2.74%、1.82%、2.98% 增至 45.39%、43.19%、37.21%。

大径材株数和材积比例均随林龄增长而增加, A₁、B₂、D₃ 分别于 24、26、28 a 生出现一定比例大径材, 初植密度愈低大径材形成愈早、比例愈

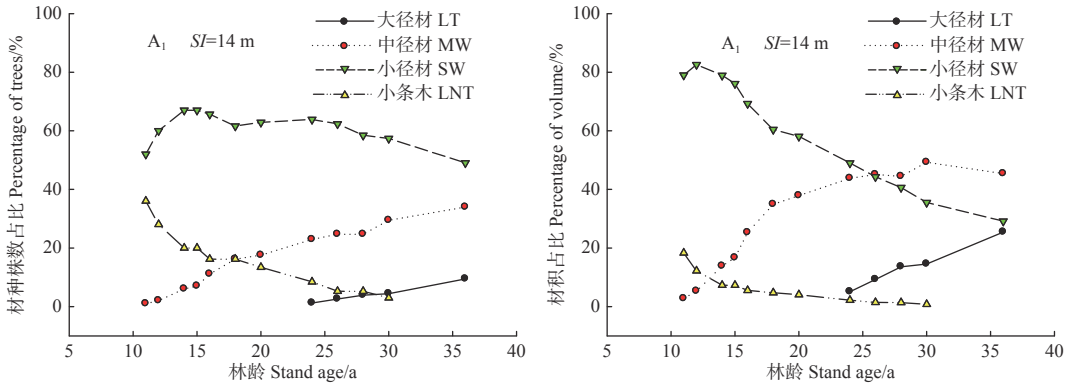


图3 A₁材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 3 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of A₁ timber assortments

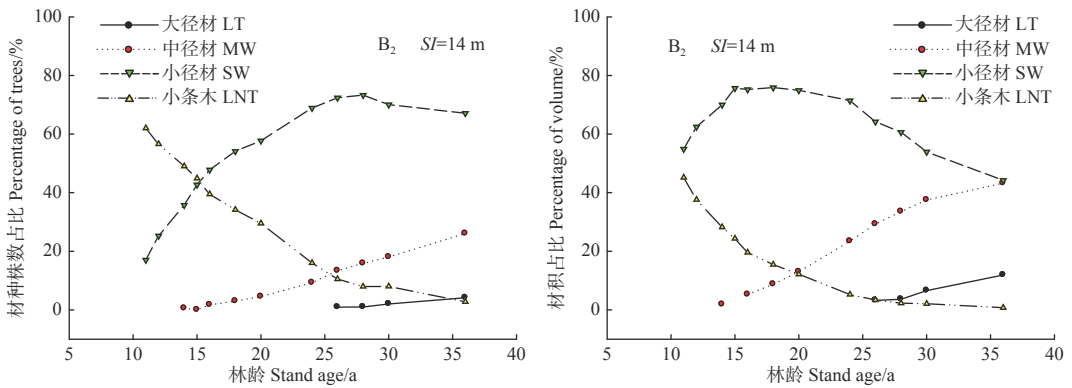


图4 B₂材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 4 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of B₂ timber assortments

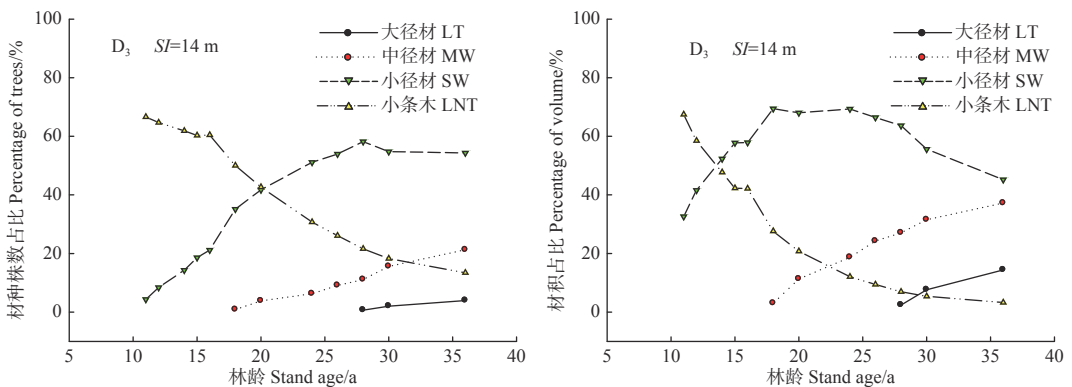


图5 D₃材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 5 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of D₃ timber assortments

大。36 a 生时，A₁、B₂、D₃ 大径材株数比例分别仅为9.43%、4.11%、3.94%，材积比例分别为25.46%、11.90%、14.37%。

可见，14 指数级立地若采用 A 密度造林或可培育少量大径材，36 a 生时大径材株数比例不到10%，材积比例虽达25%但约11%的最大增幅是在30~36 a 生期间，且材积最大分布率径阶均未超

过16 径阶，故更宜培育中、小径材。

2.3 16 立地指数级不同初植密度林分材种株数与材积分布的密度效应

图6至图10分别描述了16 立地指数级 A、B、C、D、E 5 种初植密度林分材种株数及材积比例分布的动态变化。从图中可以看出，5 种密度林分小条木株数与材积比例总体随林龄增长而递减，

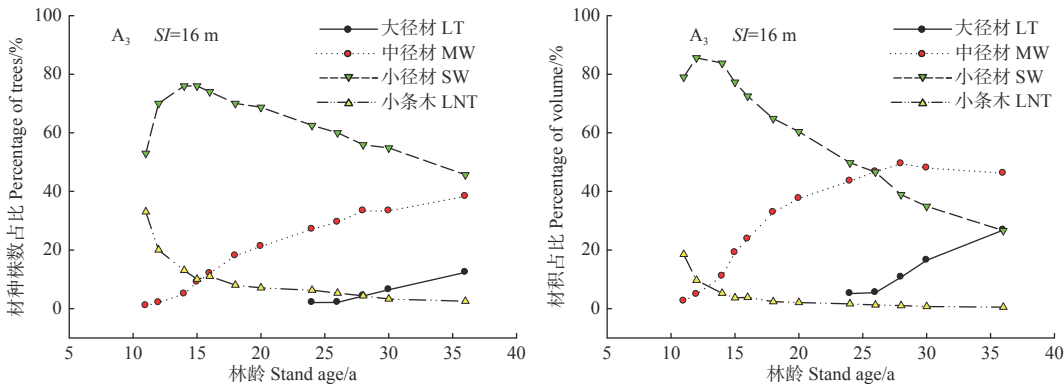


图 6 A₃ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 6 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of A₃ timber assortments

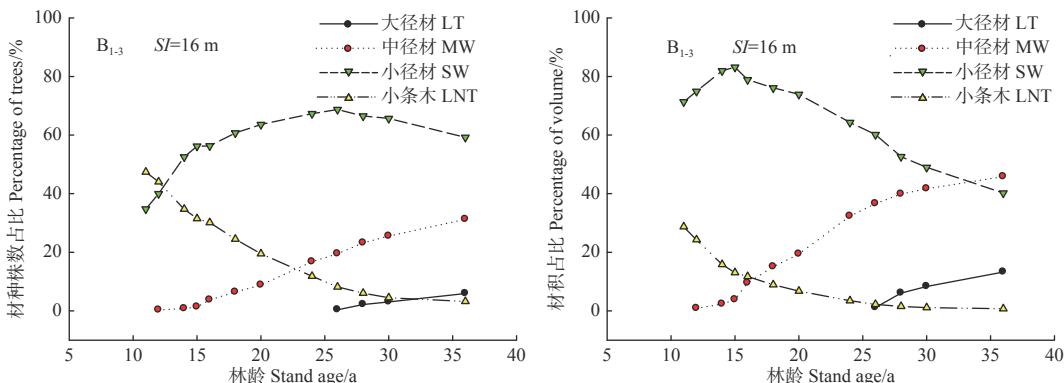


图 7 B₁₋₃ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 7 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of B₁₋₃ timber assortments

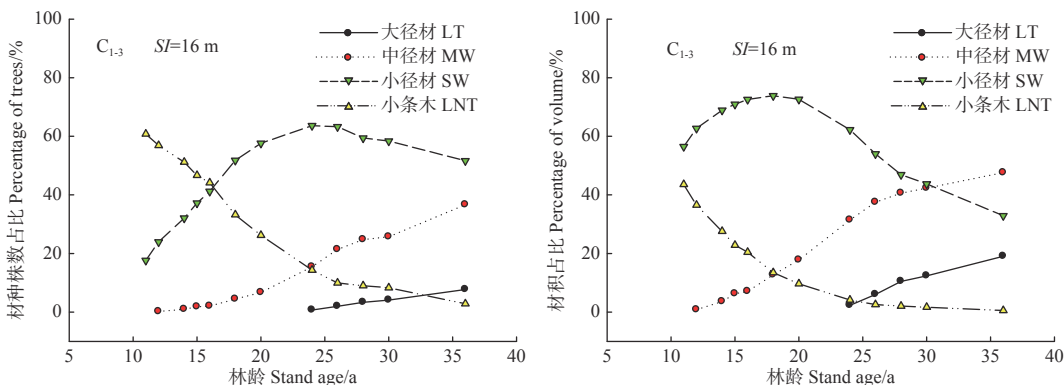


图 8 C₁₋₃ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 8 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of C₁₋₃ timber assortments

递减速度随密度增大而减缓, 且在林分成熟期比例较低。小径材株数比例受初植密度影响较大, A、B、C 密度林分小径材株数比例随林龄增长表现为先增后减趋势, D 密度林分下降不明显, E 密度林分则在后期略有增加。A、B、C、D 密度林分小径材株数比例分别在 14、26、24、28 a 生时达到峰值 76.00%、68.69%、63.61%、66.67%。5 种密度

林分小径材材积比例随林龄增长均呈先增后减的变动趋势, 达到峰值的时间随密度降低而提早, 且密度越小峰值越大, 后期下降趋势愈明显。A、B、C、D、E 密度林分小径材材积比例分别在 12、15、18、18、20 a 生时达到峰值 85.57%、83.15%、73.84%、76.18%、69.68%, 随后不同程度下降。

中径材株数和材积比例总体趋势均为随林龄增

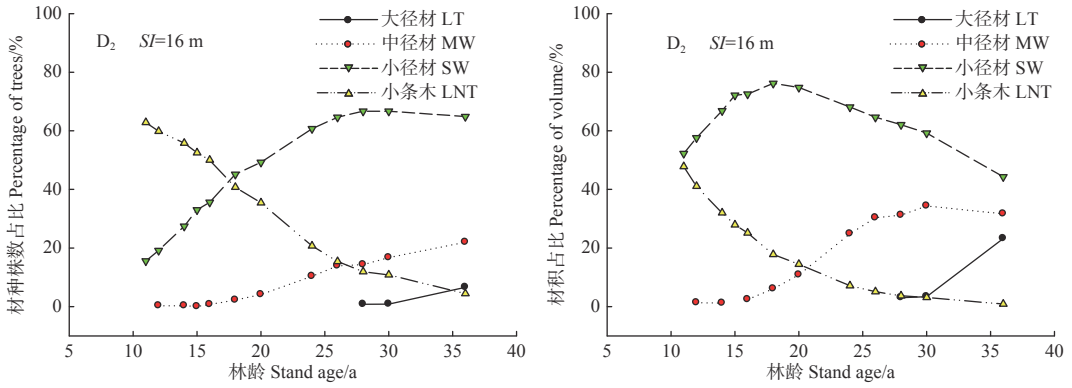


图9 D₂材种株数和材积比例的动态变化

Fig. 9 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of D₂ timber assortments

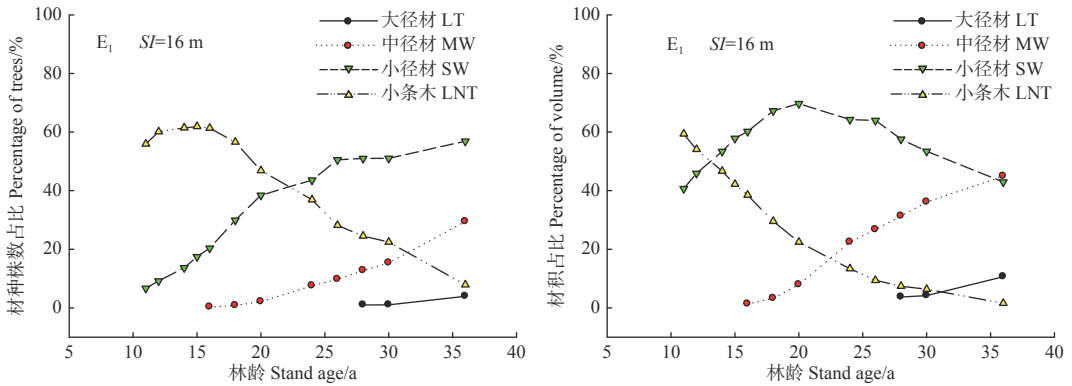


图10 E₁材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 10 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of E₁ timber assortments

长而增加。A、B、C、D、E密度林分中径材形成时间随密度降低而提早，分别为11、12、12、14、16 a生。36 a生时，D、E、B、C、A密度林分中径材株数比例依次增加，分别为21.98%、29.41%、31.21%、36.62%、38.27%，总体表现为初植密度愈低中径材比例愈高；中径材材积比例则D、E、B、A、C密度林分依次增加，分别达31.65%、44.90%、45.81%、46.16%、47.59%。

大径材株数和材积比例随林龄增长而增加，初植密度越低则大径材愈早形成，A、B、C、D、E密度林分大径材形成时间分别为24、26、24、28、28 a生；36 a生时大径材株数比例分别为12.35%、5.90%、7.73%、6.59%、3.92%，材积比例分别为26.79%、13.27%、19.04%、23.21%、10.64%，总体表现为密度越低，大径材株数及材积比例越大。

16指数级立地适宜培育中径材，且中低初植密度林分的中径材比率更高，C密度即5000株·hm⁻²林分的中径材比例最高；长周期经营时，也可培育大径材，但初植密度要低，36 a生时最低的A初

植密度林分大径材比例可超过26%。

2.4 18立地指数级不同初植密度林分材种株数与材积分布的密度效应

图11、图12、图13分别描述了18立地指数级A₂、D₁、E₃材种株数及材积比例的动态变化。从图中可以看出，A₂、D₁、E₃小条木株数和材积比例均随林龄增长而下降，在林分生长中后期非常少。A₂、D₁、E₃小径材株数比例分别在12、18、28 a生时达到最大值77.78%、60.84%、53.23%，到36 a生时分别降至33.90%、37.50%、46.15%；小径材材积比例则分别于11、14、18 a生时达到最大值79.86%、76.15%、66.41%，到36 a生时分别降至16.22%、20.17%、24.72%，小径材株数比例较材积比例变动幅度小，达到峰值的时间分别晚1、4、10 a生；初植密度愈大，小径材材积比例下降幅度愈大且在成熟期越小。

中径材株数和材积比例在18指数级立地具有较复杂变化，A₂、D₁、E₃中径材株数比例在30 a生前随林龄增长而增加，仅A₂在30 a生后略有下

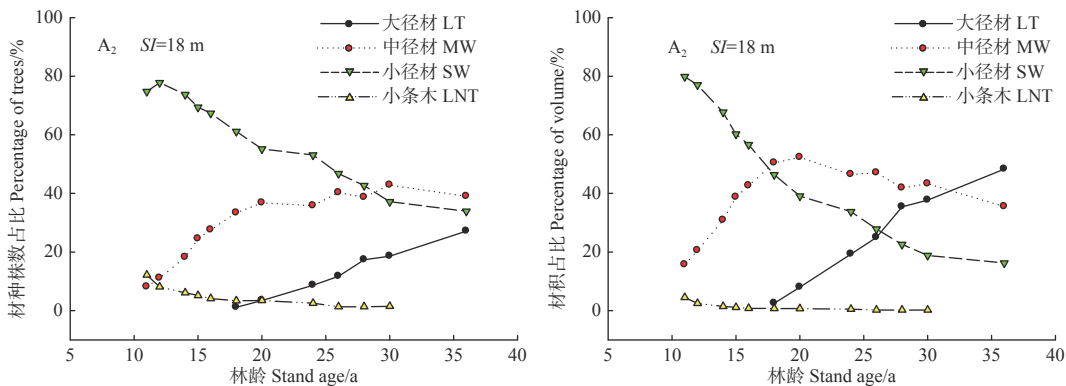


图 11 A₂ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 11 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of A₂ timber assortments

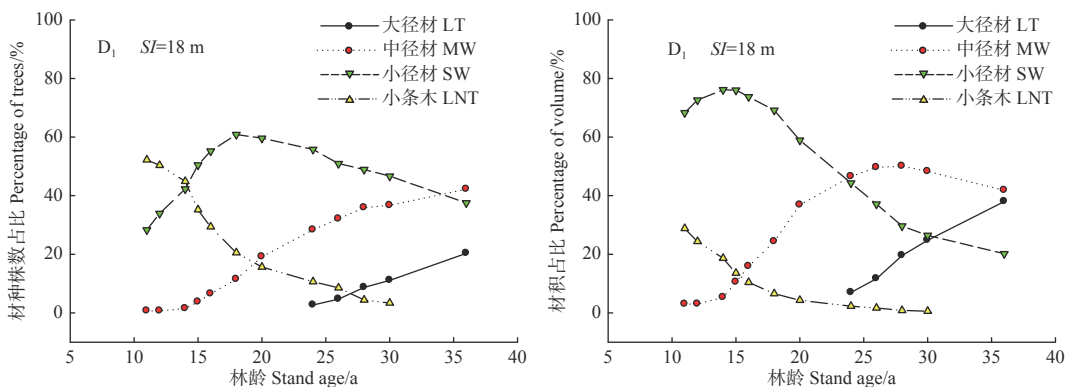


图 12 D₁ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 12 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of D₁ timber assortments

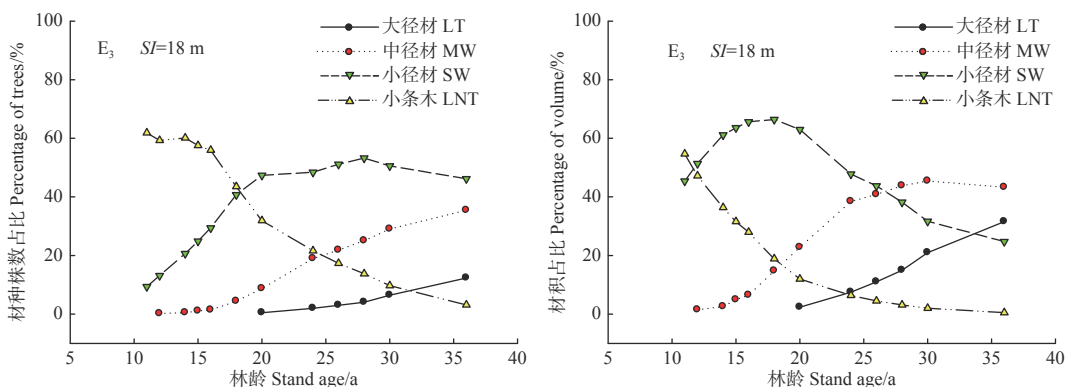


图 13 E₃ 材种株数和材积比例分布的动态变化

Fig. 13 Number of trees and volume proportions distribution dynamic changes of E₃ timber assortments

降; 中径材材积比例均随林龄增长先增后降, 且初植密度越小达到最高值越早, 下降趋势亦越明显。A₂、D₁、E₃ 中径材株数比例在 36 a 生时分别为 38.98%、42.19%、35.38%; 中径材材积比例则分别在 20、28、30 a 生时达到峰值 52.29%、50.02%、45.43%, 均接近或超过 50%。

大径材株数和材积比例均随林龄增长而增加,

材积比例较株数比例增长趋势更明显。A₂、D₁、E₃ 大径材分别形成于 18、24、20 a 生, 36 a 生时株数比例分别达 27.12%、20.31%、12.31%, 材积比例分别达 48.29%、38.01%、31.56%。显然, 初植密度越低, 大径材比例越高, 且增长趋势愈明显。可见, 18 指数级立地培育中径材潜力很大; 但更适宜培育大径材, 若初植密度在 1 667 株·hm⁻²,

轮伐期延长至 36 a 时大径材材积比例可接近 50%。

3 讨论

人工林分的材种结构与立地、密度和林龄的关系密切^[19-22]。已有研究表明,中亚热带区域不同初植密度的杉木林分径级分布差异明显。随林龄增长和林分经营密度逐渐降低,杉木林径级分布逐步向大径木方向偏移,导致出材率与出材量变动,规格材结构因而发生变化^[7, 13, 18-19, 23-24],本研究发现这种变化与南亚热带区域杉木林材种分布发展动态一致,且不同初植密度林分材种分布动态存在明显差异。假定轮伐期足够长,南亚热带一定立地条件下杉木林分潜在最高规格材种总会随初植密度降低而更早出现,且材积比例更高,而适宜培育材种(一般指材积比例最大或较大的材种)往往是中低密度更有利于形成。中、大径材材积比例在较低初植密度时更大,这与规格材数量随密度增大而下降的早期研究结果统一^[25-27]。

立地质量是人工林生产力高低的主要前提及控制因子。对南亚热带马尾松的研究表明,在 18~20 指数级立地培育大、中径材,以初植密度 1 667 株·hm⁻² 最优^[28]。本研究发现,10~18 指数级范围内不同立地适宜培育的杉木材种大小、结构、成材早晚与峰值均存在明显差异,且立地效应大小受初植密度高低的影响,立地质量对初植密度较低林分的材种结构具有更大的作用效果。立地指数显然对杉木中、大径级材种的形成具有决定性影响,立地指数愈高,初植密度越低,适宜培育的材种规格愈大,而立地指数过低,无论密度如何调控,在培育期限内无法生产出较大规格的材种。

4 结论

基于广西凭祥 36 a 生杉木密度试验林定位观测数据,对南亚热带杉木人工林林分材种结构的长期密度与立地作用规律进行了研究,得到如下主要结论:

杉木林材种形成存在明显的立地与密度的交互作用,立地质量具决定性作用,而培育高规格材种时初植密度亦可成为关键限制因素。

在杉木南带产区,10 指数级立地短周期经营时只适宜培育小径材及小条木,如经营周期延长则宜培育小径材,且初植密度不宜过大。14 指数级

立地适宜培育中、小径材,若以中径材为第一培育材种时初植密度宜低,而以小径材为第一培育材种时初植密度可略高。16 指数级立地适宜培育中径材,且中低初植密度林分的中径材比例较高,C 密度即 5 000 株·hm⁻² 林分的中径材比例最高,约 48%;长周期经营时最低 A 初植密度即 1 667 株·hm⁻² 林分大径材比例可超过 26%。18 指数级立地中径材生产潜力很大,但更宜培育大径材,且初植密度宜控制在 A 密度,轮伐期延长至 36 a 生时大径材材积比例可接近 50%。

参考文献:

- [1] 盛炜彤. 中国人工林及其育林体系[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014: 350-445.
- [2] 童书振, 盛炜彤, 张建国. 杉木林分密度效应研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15(1): 66-75.
- [3] 姜志林, 叶镜中, 周本琳. 杉木林的抚育间伐[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982, 74-78.
- [4] 陈楚莹, 廖利平, 汪思龙. 杉木人工林生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] 郑海水, 黎明, 汪炳根, 等. 西南桦造林密度与林木生长的关系[J]. 林业科学研究, 2003, 16(1): 81-86.
- [6] 段爱国, 张建国, 何彩云. 杉木人工林生物量变化规律的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 125-132.
- [7] 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益的研究[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 37-46.
- [8] 黄贤松, 吴承祯, 洪伟, 等. 2种杉木人工林密度与立木生物量的研究[J]. 福建林学院学报, 2011, 31(2): 102-105.
- [9] 张阳锋, 尹光天, 杨锦昌, 等. 造林密度对米老排人工林初期生长的影响[J]. 林业科学研究, 2018, 31(4): 83-89.
- [10] Zhang J G, Duan A G, Sun H G, et al. Self-thinning and Growth Modelling for Even-aged Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) Stands[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [11] 吴中伦. 杉木[M]. 北京: 中国林业出版社, 1984.
- [12] 俞新妥. 杉木栽培学[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1997.
- [13] 惠刚盈, 胡艳波, 罗云伍, 等. 杉木中大径材材种机理的研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(2): 177-181.
- [14] 吴承祯, 洪伟. 杉木人工林自然稀疏规律研究[J]. 林业科学, 2000, 36(4): 97-101.
- [15] 张建国, 段爱国. 理论生长方程对杉木人工林林分直径结构的模拟研究[J]. 林业科学, 2003, 39(6): 55-61.
- [16] 佟金权. 不同地位指数不同密度杉木人工林生产力的比较[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2008, 37(4): 369-373.
- [17] 刘景芳, 童书振. 杉木林经营新技术[J]. 世界林业研究, 1996, 9(专): 88-98.
- [18] 相聪伟, 张建国, 段爱国, 等. 杉木人工林材种结构的立地及密度效应研究[J]. 林业科学研究, 2015, 28(5): 654-659.
- [19] 阮瑞文, 窦永章. 杉木不同密度造林试验研究[J]. 林业科学, 1981, 17(4): 370-378.
- [20] Plauborg K. Analysis of radial growth responses to changes in stand density for four tree species[J]. Forest Ecology and Management,

2004, 188(1-3): 65-75.

- [21] 叶传界. 马尾松大径材林分密度的探讨[J]. 林业勘察设计, 2008(1): 58-60.
- [22] Sanquetta C R, Arce J E, de Mello A A, *et al.* The effect of initial stand density on clear wood yield in loblolly pine plantations[J]. *Cerne*, 2015, 9(2): 129-140.
- [23] 杉木造林密度试验协作组. 杉木造林密度试验阶段报告[J]. 林业科学, 1994, 30(5): 419-429.
- [24] 何宗明, 林思祖, 俞新妥, 等. 杉木人工林自然生长模型的研究[J].

福建林学院学报, 1997, 17(3): 231-234.

- [25] 王素萍, 江希钿, 杨锦昌. 杉木人工林分材种出材率变化规律的分析[J]. 福建林学院学报, 2002(2): 146-149.
- [26] 段爱国, 张建国, 童书振, 等. 杉木人工林分直径结构动态变化及其密度效应的研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 178-184.
- [27] 丁贵杰, 周政贤, 严仁发, 等. 造林密度对杉木生长进程及经济效果影响的研究[J]. 林业科学, 1997, 33(zk1): 67-75.
- [28] 湛红辉, 丁贵杰. 马尾松造林密度效应研究[J]. 林业科学, 2004, 40(001): 92-98.

Long-term Effects of Site and Density on Timber Assortment Structure of Chinese Fir Plantations in South Subtropical Area, China

GUO Guang-zhi^{1,3}, DUAN Ai-guo^{1,2}, ZHANG Jian-guo^{1,2}, LIAO Shu-shou⁴

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, National Forestry and Grassland Administration, State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Beijing 100091, China; 2. The Southern Modern Forestry Collaborative Innovation Center, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; 3. Forestry Bureau of Weifang, Weifang 261041, Shandong, China; 4. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China)

Abstract: [Objective] To reveal the long-term effects of site and planting density on stand timber assortment structure of Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations in south subtropical area, China. [Method] Based on positioning observation data of 36-years-old Chinese fir plantations at four site index classes in Daqingshan, Guangxi, including five planting densities of A (1 667 trees·hm⁻²), B (3 333 trees·hm⁻²), C (5 000 trees·hm⁻²), D (6 667 trees·hm⁻²), and E (10 000 trees·hm⁻²), the dynamic changes of stand timber assortment structure were analyzed. [Result] The number of trees and volume proportions of small diameter wood (SW) increased with age at the beginning, and decreased with age after the peak points. The lower the planting density and the higher the site index were, the faster the decline became. The number of trees and volume proportions of medium and large diameter wood increased with age. The lower the planting density and the higher the site index were, the faster the proportions increased. The volume proportion of stand medium diameter wood (MW) at density D or below and 18-site-index class was about 50% at the age of 28. The volume proportion of stand large diameter timber (LT) at density A and 18-site-index class was about 50% at the age of 36. At 16-site-index class, the ratio of stand MW volume at middle and low planting density was over 45%, and the ratio of density C stand was about 48% which was the highest, and the volume proportion of LT at density A stand was over 26% at the age of 36. At 14-site-index class, the volume proportion of MW at density A stand was 44% at the age of 24, the volume proportion of SW of density A, B, and D was 83%, 76% and 69% at the age of 12, 18 and 24, respectively. At 10-site-index class, the volume proportion of SW at density C and E stand was 71% and 61% at the age of 36, respectively. [Conclusion] The timber assortment formation of Chinese fir plantation is closely related to site, density and age, the site quality plays a decisive role, while the planting density can also be a key limiting factor in cultivating high specification timber assortments. Lower initial planting density and higher site index are more conducive to the formation of MW and LT. In south subtropical area of China, the site of 10-index-class is to be fit only for cultivating SW and small bar timber. The site of 14-index-class is suitable for cultivating MW and SW. If MW is taken as the first target, the planting density should be low. The site of 16-index-class is suitable for cultivating MW, LT can also be cultivated if the period is long enough, but the planting density should not exceed 1667 trees per hectare. The site of 18-index-class has great production potential of MW, cultivating LT is a better choice, but the planting density should be controlled at density A, rotation period should not be less than 36 years.

Keywords: *Cunninghamia lanceolata*; timber assortment structure; density effect; site effect; south subtropics