

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.04.007

基于林分垂直空间结构特征的杉木人工林抚育间伐可视化模拟研究

朱欣然^{1,2}, 吕勇^{1*}, 张怀清², 张江^{1*}, 杨廷栋², 张鸿^{1,2}

(1. 中南林业科技大学林学院, 湖南长沙 410004; 2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: [目的] 针对抚育间伐目前存在较少利用垂直空间结构参数的问题, 以林分三维可视化模拟系统为基础, 加入森林结构功能模块, 研究一种以林分垂直空间结构参数 $A_{-}Pv_i$ 为依据, 对森林经营方案原定的抚育强度进行改进的方法。[方法] 利用林分三维场景可视化模拟系统中的森林结构功能模块, 通过读取杉木样地调查表中的每木数据, 在虚拟场景中模拟样地的真实情况, 分析样地的各空间结构参数。[结果] 经过考虑林分垂直结构的间伐强度间伐后的 4 块样地与原定间伐强度相比, 平均 $A_{-}Pv_i$ 更加趋近于 0, 样地内林木竞争状况更加均匀, 1 号样地的平均 $A_{-}Pv_i$ 由 0.46 降到了 -0.24, 2 号样地由 0.46 降为 0, 3 号样地由 -0.19 提升到了 -0.04, 4 号样地由 0.40 降到了 0.04; 平均角尺度无大幅度变化, 4 块样地都呈随机分布状态; 4 块样地中, 除了 3 号样地外, 平均大小比数均出现了较大幅度的减少。[结论] 考虑林分垂直结构的间伐强度与原林场森林经营方案既定的间伐强度相比, 改善了林分的竞争状况, 使林分内的竞争状况趋近均势。林分三维场景可视化模拟系统可以精确模拟采用不同间伐强度进行间伐后的林分拟真场景及其空间结构变化情况。

关键词: 间伐; 空间结构; 可视化模拟

中图分类号: S771

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)04-0053-06

目前的抚育间伐方式可分为定性间伐和定量间伐两种。其中, 定性间伐难度较大, 其需要选木者掌握丰富的选木经验, 且定性间伐注重单木质量, 林分质量处于次要地位^[1]。而定量间伐的特点是根据不同的林分结构及林龄确定保留的株数或材积, 其优点是不需要像定性间伐一样要求选木者具备丰富的经验^[2]。在目前的定量间伐计算方法研究中, 主要是以通过确定林分最佳密度的方式来确定间伐强度, 有以树高与冠幅比值为基础的定量间伐、以树高和冠幅相关为基础的定量间伐、胸径与冠幅相关为基础的定量间伐以及胸径与最大密度为基础的定量间伐等几种方式来确定林分每公顷最佳株数^[3]。此外, 还有以林分相对于距为基础的定量间伐以及应用林分拥挤度来确定间伐量的抚育间伐方

法^[4]。但这些方法都是以调节林分密度为目标, 对林分空间结构的改善效果并不明显, 且很少有考虑到以林分垂直空间结构为依据来改良间伐强度。而在实际的森林经营活动中, 以调整林分空间结构为目的的间伐往往缺乏对间伐后林分空间结构调整结果的预估^[5]。

现在较为常用的林分空间结构指标, 主要包括 Hegyi 竞争指数、大小比数、角尺度、聚集指数、混交度等。Hegyi 竞争指数、大小比数反映了林分中林木的竞争状况^[6-7], 角尺度、聚集指数等从水平角度描述了林木分布格局^[8-11]。为了更好地反映林分垂直空间结构, 吕勇等^[12]在林层比的基础上改进了其模型, 提出了林层指数, 除保留林层比原有的特征外, 增加了对林层多样性的描述。李

收稿日期: 2019-09-20 修回日期: 2020-01-10

基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFD0600905); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(CAFYBB2019SZ004)

* 通讯作者: 吕勇, 教授, 博导, 主要从事森林资源经营管理的教学和研究工作, Email: luyonghh@yahoo.com.cn; 张江, 副教授, 主要从事智慧林草相关教学和科研工作, Email: zhangjiang8@139.com

思佳等^[13]研究提出了垂直空间结构参数 PV_i ，以分析林木在垂直方向上的竞争状况。

抚育间伐对林分的影响已经有过大量的研究，这些研究主要是基于传统森林功能评价展开的，如蓄积量，生长量，树高结构和胸径结构等^[14-19]。对间伐影响下的林分空间结构研究较少。本研究以湖南黄丰桥国有林场森林经营方案为依据，对其中的间伐强度进行改进，使用计算机三维可视化模拟技术，构建真实的三维林分场景，对林分内的间伐活动以及间伐后林分空间结构调整的结果进行模拟，以期为森林经营者提供决策手段。

1 研究区概况

研究区位于湖南省株洲市攸县境内的黄丰桥国有林场， $113^{\circ}04' \sim 113^{\circ}43' E$ ， $27^{\circ}06' \sim 27^{\circ}04' N$ ，属于亚热带季风湿润气候，年平均气温 $17.8^{\circ}C$ ，无

霜期达 229 d，年均降水量为 1 410.8 mm，森林覆盖率为 86.24%，树种主要以杉木（*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.）、马尾松（*Pinus massoniana* Lamb.）为主，其中杉木面积 3 197.6 hm^2 ，全部为人工造林。

2 材料与方法

2.1 数据来源

在研究区选取杉木人工纯林典型样地 4 块（分别命名为 1、2、3、4。地位指数：18，坡向：南坡，坡度： $5 \sim 10^{\circ}$ ，海拔：270~320 m）。利用全站仪测量得到杉木单木根部相对坐标（X, Y, Z），以常规外业调查方式调查胸径（DBH）、树高（H）、冠幅（CW）、活枝下高（UBH）、生长状态等，按 1 年时间间隔采集 2012—2017 年调查数据。其核心区（距边界 5 m）属性分布如表 1 所示。

表 1 样地因子基本统计量

Table 1 Summary statistics of sample plots

样地序号 Sample plots No.	面积/ m^2 Area	株数 Stem number	年龄跨度/a Age span	平均大小比数 Average neighborhood comparison	平均角尺度 Average uniform angle index
1	50×50	357	23~28	0.62	0.55
2	40×40	246	10~15	0.53	0.51
3	40×80	696	16~21	0.15	0.53
4	50×50	229	11~16	0.22	0.55

2.2 研究方法

2.2.1 垂直结构参数 为了表达对象木与其竞争林木之间的大小差异，引用参考文献 [13] 李思佳研究提出的垂直空间结构参数 A_{PV_i} 。

2.2.2 间伐指标的计算 本研究中将文献 [13] 式中的空间结构单元数 n 取 4，当 A_{PV_i} 越接近 -1 时，整个样地的平均竞争状况越好，可以适当减小间伐强度；当 A_{PV_i} 越接近 1 时，说明样地的平均竞争状况处于劣势地位，应加大间伐强度来改善样地内的竞争状况。

结合垂直空间结构参数 A_{PV_i} 和森林经营方案原定间伐强度，经过多次实验认为平均 A_{PV_i} 对间伐强度的影响系数为 0.1 较为合理，提出考虑林分垂直结构的间伐强度指标。公式如下：

$$S = P + (0.1 * A_{PV_i}) \quad (1)$$

式中： S 为经过改进后的抚育间伐强度； P 为森林经营方案中原定间伐强度，本研究中为 27%； A_{PV_i} 为林分平均垂直结构参数。当样地平均竞争

状况良好时， A_{PV_i} 为负值，则经过调整后的间伐强度较原间伐强度更小；当样地平均竞争状况处于劣势时， A_{PV_i} 为正值，则经过调整后的间伐强度较原间伐强度更大，以期对样地的竞争状况获得更好的调整效果。

2.2.3 间伐设计方法 以黄丰桥国有林场的森林经营方案为依据，确定 4 块样地所在小班的间伐强度均为 27%，采用机械抽样的方式选取间伐木。

通过上文提到的考虑林分垂直结构的间伐强度指标来对原有的间伐强度进行改善，对样地进行模拟间伐，并与采用 27% 强度间伐的样地进行对比。

2.2.4 水平空间结构参数 为了检验考虑林分垂直结构的间伐强度与原间伐强度相比对林分空间结构的改善情况，本研究从林分空间分布格局和林木个体大小差异两个方面来描述林分空间结构，选取了大小比数和角尺度作为表达林分空间结构的参数。

2.2.5 虚拟三维仿真林分环境中的间伐可视化模拟 基于 Unity3D 引擎实现间伐影响下的林分生长

动态可视化模拟。主要采用了高亮显示技术、公告板技术、对空间结构单元中树木的信息、距离等进行可视化模拟, 能更直观的表达林木的生存空间。采用 Unity 中最新的 UI 系统 UGUI 对林分中大小比数、角尺度、垂直结构参数 A_{Pv} 进行可视化显示, 采用读取间伐表的方式对样地进行模拟间伐。

3 结果与分析

3.1 林分抚育间伐可视化模拟

使用系统的林分加载功能将样地调查表导入到可视化系统中, 通过样地调查表中的树高、胸径、

冠幅、枝下高数据, 模拟样地真实三维场景。通过读取间伐表的方式模拟采伐, 再运行林分结构分析功能, 可以直接显示样地的大小比数和角尺度的分布频率, 平均大小比数和平均角尺度, 以及平均垂直空间结构参数 A_{Pv} , 如图 1 所示 (以 3 号样地为例, 下同)。

3.2 间伐前后样地空间结构对比

根据黄丰桥国有林场森林经营方案, 对样地进行间伐强度为 27% 的定量间伐, 采用机械抽样的方法选取间伐木, 采用系统读取间伐表的方式进行模拟间伐。系统运行后的样地情况和各空间结构参数如图 2 所示。具体间伐后结果见表 2:



图 1 3 号样地间伐前三维虚拟场景模拟

Fig. 1 3rd sample plot before the thinning 3D virtual scene simulation



图 2 3 号样地 27% 强度间伐后三维虚拟场景模拟

Fig. 2 3rd sample plot after 27% intensity thinning 3D virtual scene simulation

可以看到, 经过 27% 间伐强度间伐后的样地, 与间伐前样地相比, 4 块样地的平均 A_{Pv} 均出现了较大幅度的增长, 样地内单株木与其 4 棵相邻木的竞争依然处于不平衡的状态; 平均角尺度变化不大, 依旧维持在 0.5 左右, 处于随机分布状态; 在平均大小比数方面, 4 块样地的平均大小比数与间伐前相比, 都出现了较大幅度的上升, 说明单株木在与其最近 4 株相邻木的竞争普遍处于优势地位。

表 2 27% 间伐强度间伐后样地空间结构参数统计

Table 2 Statistical analysis of spatial structure parameters of 27% thinning intensity after thinning

样地号 Sample plots No.	平均角尺度 Average uniform angle index	平均大小比数 Average neighborhood comparison	平均 A_{Pv} Average A_{Pv}
1	0.53	0.83	0.46
2	0.50	0.86	0.46
3	0.53	0.49	-0.19
4	0.54	0.76	0.40

根据 4 块样地在间伐前的垂直结构参数 A_{Pv} 对原有的间伐强度进行改进, 根据 (4) 式可以计算出改进后的间伐强度及间伐株数, 具体结果如表 3:

表 3 样地间伐量计算

Table 3 Amount of thinning calculation of sample plots

样地号 Sample plots No.	平均 A_{Pv} Average A_{Pv}	间伐强度/% Thinning intensity	间伐前株数 Number of trees before thinning	间伐后株数 Number of trees after thinning
1	0.17	28.7	357	255
2	0.06	27.6	246	178
3	0.20	29	696	494
4	-0.30	24	229	174

根据表 3 的间伐强度及间伐株数计算结果, 使用林分三维场景可视化模拟系统对 4 块样地进行模拟间伐, 可以得到经过考虑林分垂直结构的间伐强度间伐后的林分三维场景, 运行林分结构分析功能, 可以得到经过考虑林分垂直结构的间伐强度间伐后的样地内的大小比数、角尺度以及垂直空间结构参数 A_{Pv} (图 3), 具体间伐后结果如表 4:



图 3 3 号样地改进间伐强度间伐后三维虚拟场景模拟

Fig. 3 3rd sample plot after improved intensity thinning 3D virtual scene simulation

表 4 间伐后样地空间结构参数统计

Table 4 Statistical analysis of spatial structure parameters of plots after thinning

样地号 Sample plots No.	平均角尺度 Average uniform angle index	平均大小比数 Average neighborhood comparison	平均 A_{Pv} Average A_{Pv}
1	0.53	0.28	-0.24
2	0.50	0.51	0
3	0.52	0.71	-0.04
4	0.53	0.46	0.04

可以看出, 经过考虑林分垂直结构的间伐强度间伐后 4 块样地与采用 27% 间伐强度间伐后的样地相比, 平均 A_{Pv} 更加趋近于 0, 其中 2、3 和 4 号样地更加明显, 说明这 3 块样地的单株木与其最近 4 棵相邻木的竞争整体上处于均势; 4 块样地的平均角尺度与间伐前的样地和经过 27% 间伐强度间伐后的样地相比, 均无明显变化, 整体均维持在 0.5 左右, 属于随机分布; 4 块样地中, 除了 3 号样地外, 平均大小比数均出现了较大幅度的减少。

4 讨论

本研究使用考虑林分垂直结构的间伐指标与森林经营方案原定间伐强度相比,对 A_{Pv} 改善效果明显,使林分中的竞争更加平均。但是对角尺度的改善无明显效果,可能是样地均为人工纯林的原因;而对大小比数的影响无规律可循,可以在今后的研究中加大模拟样地间伐的数量,探寻其规律。本研究使用的林分三维可视化模拟系统对样地真实场景的模拟效果较好,开发的森林结构功能模块对间伐活动及间伐后样地的各空间结构参数分析准确,为森林经营者提供了新的决策手段。

在今后研究中,一方面需要考虑大场景森林可视化模拟优化技术,实现大规模、高细节的场景模拟,以及在林分空间结构分析功能模块中加入聚集指数、开敞度等其他空间结构参数,以直接反映林分的空间结构特征;另一方面应继续改进考虑林分垂直结构的间伐强度,合理考虑更多的变量,如聚集指数、林分拥挤度等空间结构参数,以期相较原定间伐强度而言,对林分空间结构的改善效果更加显著。

5 结论

本研究以杉木人工林为研究对象,利用林分三维场景可视化模拟系统中的森林结构功能模块,通过读取杉木样地调查表中的每木坐标、胸径、树高、冠幅和枝下高数据,可以在虚拟场景中模拟样地的真实情况,分析样地的大小比数、角尺度及 A_{Pv} 的平均值,为研究间伐影响下的林分空间结构变化提供了可视化手段。经过考虑林分垂直结构的间伐强度间伐后的4块样地与原定间伐强度相比,平均 A_{Pv} 更加趋近于0,说明经过考虑林分垂直结构的间伐强度间伐后样地内林木竞争状况更加均匀;平均角尺度无大幅度变化,4块样地都维持在0.5左右,呈随机分布状态;4块样地中,除了3号样地外,平均大小比数均出现了较大幅度的减少。

参考文献:

- [1] 田镛锡,孙家元. 抚育间伐方式的研究[J]. 林业资源管理, 1983,(1): 10-13.
- [2] 张鹏. 不同间伐强度杉木人工林林分结构及生长分析[D].北京: 北京林业大学, 2015.
- [3] 刘荣. 间伐抚育对刺槐人工林林分结构和林分健康的影响[D].西安: 西北农林科技大学, 2016.
- [4] 惠刚盈,张连金,胡艳波,等. 林分拥挤度及其应用[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(10): 1-6.
- [5] 邓强. 林分结构分析与调整可视化模拟技术[D].长沙: 中南林业科技大学, 2016.
- [6] 张晔理,张怀清,陈永富,等. 基于树冠因子的林木竞争指数研究[J]. 林业科学研究, 2016, 29(1): 80-84.
- [7] 惠刚盈, Klaus von Gadow, Matthias Albert. 一个新的林分空间结构参数——大小比数[J]. 林业科学研究, 1999, 12(1): 4-9.
- [8] 惠刚盈, K.v.Gadow, 胡艳波, 等. 林木分布格局类型的角尺度均值分析方法[J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1225-1229.
- [9] 惠刚盈, K.v.Gadow, 胡艳波. 林分空间结构参数角尺度的标准角选择[J]. 林业科学研究, 2004, 17(6): 687-692.
- [10] 惠刚盈. 角尺度——一个描述林木个体分布格局的结构参数[J]. 林业科学, 1999, 35(1): 39-44.
- [11] Corral-Rivas J J, Wehenkel C, Castellanos-Bocazh A, et al. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbour indices in forest stands[J]. Journal of Forest Research, 2010, 15(4): 218-225.
- [12] 吕勇, 臧颢, 万献军, 等. 基于林层指数的青桐混交林林层结构研究[J]. 林业资源管理, 2012,(3): 81-84.
- [13] 李思佳, 张怀清, 李永亮, 等. 基于样本库的杉木林分生长动态可视化模拟[J]. 林业科学研究, 2019, 32(1): 21-30.
- [14] 雷相东, 陆元昌, 张会儒, 等. 抚育间伐对落叶松云冷杉混交林的影响[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 78-85.
- [15] 胡云云, 闵志强, 高延, 等. 择伐对天然云冷杉林分生长和结构的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 15-24.
- [16] 刘文, 王敏增, 兰欣, 等. 抚育间伐强度对侧柏林及林下植被生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(7): 4-7, 18.
- [17] Kendra A M, John A C. Mechanical blossom thinning of apples and influence on yield, fruit quality and spur leaf area[J]. Canadian Journal of Plant Science, 2015, 95(5): 887-896.
- [18] Flathers K, Kolb T, Bradford J, et al. Long-term thinning alters ponderosa pine reproduction in northern Arizona[J]. Forest Ecology and Management, 2016, 37(4): 154-165.
- [19] 冉然, 张文辉, 何景峰, 等. 间伐强度对秦岭南坡栓皮栎天然林种群更新的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 695-701.

Visual Simulation of Thinning of Chinese Fir Based on Stand Spatial Vertical Structure Characteristics

ZHU Xin-ran^{1,2}, LYU Yong¹, ZHANG Huai-qing², ZHANG Jiang¹, YANG Ting-dong², ZHANG Hong^{1,2}

(1. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, Hunan, China; 2. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] To add stand vertical spatial structure as a parameter into forest structure module of three-dimensional visualization simulation system to make better use of vertical structure as a parameter in thinning. [Method] Using the forest structure function module in the forest three-dimensional scene visualization simulation system, by reading the data of individual trees in Chinese fir sample plot survey table, a kind of vertical space structure parameter A_{Pv_i} was introduced, the real situation of the plot was simulated in the virtual scene to analyze the spatial structure parameters of the plot. [Result] The average A_{Pv_i} was closer to 0 than the original thinning intensity after considering the thinning intensity of the vertical structure of the stand. The competition in the plot was more uniform. The average A_{Pv_i} of plot 1 decreased from 0.46 to -0.24, the average A_{Pv_i} of plot 2 decreased from 0.46 to 0, the average A_{Pv_i} of plot 3 increased from -0.19 to -0.04, and the average A_{Pv_i} of plot 4 decreased from 0.40 to 0.04. No significant change was observed for the average angular scale, and all the four plots were randomly distributed. Among the four plots, the average size ratio decreased significantly except for the plot 3. [Conclusion] The thinning intensity taking stand vertical structure into consideration can better improve the competition status of the stand compared with the established thinning intensity specified by the forest management plan, and make the competition within the stand approaching to balance. The forest three-dimensional scene visualization simulation system can accurately simulate the forest-like immersive scenes and their spatial structure changes after thinning with different thinning intensities.

Keywords: thinning; spatial structure; visual simulation

(责任编辑: 彭南轩)