

基于目标树经营的抚育采伐对云冷杉针阔混交林空间结构的影响

陈科屹¹, 张会儒^{1*}, 雷相东¹, 娄明华², 王全军³, 毛建国³

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 宁波市农业科学研究院, 浙江 宁波 315040;
3. 吉林省汪清林业局, 吉林 汪清 133200)

摘要: [目的] 以长白山林区云冷杉针阔混交林为研究对象, 分析目标树抚育采伐前后云冷杉针阔混交林空间结构参数的变化, 探索目标树抚育采伐对森林空间结构的影响。[方法] 基于 6 块面积 1 hm² 的样地, 首先遵循近自然森林经营的原理进行林木分类, 选定目标树, 伐除干扰树; 再结合结构化森林经营的原理, 计算并分析抚育采伐前后目标树空间结构参数和林分空间结构评价指数的变化。[结果] 表明: 经目标树抚育采伐后 (1) 目标树空间结构单元内的树种隔离程度得到进一步提高; 林木透光条件有所改善; 目标树的竞争压力得以减小; 林木空间分布格局总体上得到优化。(2) 林分空间结构评价指数进一步提高, 林分空间结构水平稳中有升。[结论] 通过采取合理的目标树抚育采伐措施能兼顾改善单木水平和林分水平的空间结构状况, 在实现优化目标树空间结构的同时, 保证林分整体空间结构的稳定。从目标树抚育采伐对林分整体空间结构的影响来看: 所有样地的林分空间结构状况均得到进一步改善。

关键词: 目标树经营; 抚育采伐; 云冷杉; 空间结构; 评价指标

中图分类号: S718.54

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)05-0718-09

Effect of Thinning on Spatial Structure of Spruce-fir Mixed Broadleaf-conifer Forest Base on Crop Tree Management

CHEN Ke-yi¹, ZHANG Hui-ru¹, LEI Xiang-dong¹, LOU Ming-hua², WANG Quan-jun³, MAO Jian-guo³

(1. Research Institute of Forest Resources Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315040, Zhejiang, China; 3. Wangqing Forestry Bureau, Wangqing 133200, Jilin, China)

Abstract: [Objective] The aim of this study is to provide the guidance and reference for formulating forest management measures and completing the system of effectiveness evaluation of forest management by analyzing the change of crop tree before and after the thinning based on the crop tree management. [Method] According to the theory of close-to-nature forest management, the crop trees were selected and interference trees were fell based on 6 Spruce-fir mixed forest sample plots each in a area of 1 hm². The change of the spatial structure parameters of crop trees and evaluation index of the stand spatial structure were computed and analyzed after combining the theory of structure-based forest management. [Result] (1) The isolation degree of species within the spatial structure unit was further improved; the light conditions of forest got better; the pressure of competition of crop tree was reduced; on the whole, the spatial distribution pattern was optimized. (2) The evaluation index of the stand spatial structure was further improved and the level of stand spatial structure showed the trend of steadily. [Conclusion]

收稿日期: 2016-12-10

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项(201404309)。

作者简介: 陈科屹(1989—), 男, 博士研究生, 主要研究方向: 森林可持续经营。E-mail: Lowrychen@sina.com

* 通讯作者: 张会儒(1964—), 男, 研究员, 博导, 主要研究方向: 森林可持续经营等。E-mail: huiru@caf.ac.cn

The thinning based on the crop tree management can realize the objective of optimizing the spatial structure of crop tree and keep the stabilization of the stand spatial structure. That means that it can accomplish the specific objective of optimizing the growing space of crop tree under the premise that the status of stands spatial structure are not destroyed and the level of stands spatial structure is not lower. The thinning can create more room for promote the economic benefits and ecological benefits of forest. It can provide a reference to the accurate culture and management of similar forest in Changbaishan Mountain regions and the monitoring and evaluation of the effect of forest management.

Keywords: crop tree management; thinning; spruce-fir; spatial structure; evaluating indicator

近自然森林经营能充分利用自然规律和自然力,减轻森林经营中的盲目性和无谓消耗,实现森林在多个方面及多重效益上的可持续经营^[1-2]。目标树经营是实现近自然森林经营的重要途径,它是一种通过降低相邻木之间冠层竞争、增加目标树生长空间从而实现提高单株木质量的营林技术^[3-4]。目标树经营将林分中所有的林木分为目标树、干扰树、特殊目标树和一般林木。其核心技术之一就是确定目标树、伐除干扰树,释放生长空间。目前这项技术在世界各地已经展开了广泛的研究和应用^[5]。在此背景下探索目标树抚育采伐对森林产生的影响就自然成为了后续研究的方向之一。

常规抚育采伐对森林的影响早已开展过大量的研究,这些影响主要是基于对传统森林功能的评价展开的,如抚育采伐对蓄积量、生长量等的影响^[6-13]。从目标树经营的角度探索抚育采伐对森林的影响也开展了部分研究,但仍然多以在传统评价指标的基础上展开的分析^[14-18],鲜有从空间结构的角度分析目标树抚育采伐在目标树水平以及林分水平上的影响,而目标树经营的关键之处就在于给选定的目标树创造良好的生长空间。其次,传统评价指标的变化往往需要经历一定的时间才能够体现,而以空间结构特征分析展开的森林状态评价能够及时反映森林经营的效果,以便及时掌握并修正林分中不合理的情况,有效避免由于经营措施不当造成不可挽回的损失^[19]。此外,近年来部分学者对一些林分结构指标进行了修正和改进,为林分结构量化分析提供了更为合理的方法。有鉴于此,本文以长白山林区云冷杉针阔混交林为研究对象,从空间结构的角度分析基于目标树经营的抚育采伐对森林空间结构产生的影响,以期为更加合理的开展森林经营活动,避免和减小损失提供指导;同时也能为完善森林经营成效监测和评价体系提供参考依据。

1 研究区概况

研究区位于吉林省汪清林业局金沟岭林场,属长白山系老爷岭山脉雪岭支脉,地理坐标为 130°5′~130°20′ E, 43°17′~43°25′ N。林区地貌属低山丘陵,海拔 300~1 200 m,坡度主要集中在 5°~25°,个别陡坡在 35°以上^[20]。该区属季风型气候,1 月份最低平均气温 -32℃,7 月份最高平均气温 32℃,全年平均气温为 4℃;年降水量 600~700 mm,且多集中在 7 月份。本地区土壤多为灰棕壤土。研究区植被主要树种有鱼鳞云杉(*Picea jezoensis* Caee.)、红皮云杉(*Picea koraiensis* Nakai)、臭冷杉(*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.)、黄落叶松(*Larix olgensis* Henry)、红松(*Pinus koraiensis* Siebold et Zuccarini.)、枫桦(*Betula costata* Trautv.)、椴树(*Tilia amurensis* Rupr.)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、白榆(*Ulmus pumila* Linn.)、大青杨(*Populus ussuriensis* Kom.)、色木(*Acer mono* Maxim.)、水曲柳(*Fraxinus mandschurica* Rupr.)、东北红豆杉(*Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc.)、青楷槭(*Acer tegmentosum* Maxim.)、花楷槭(*Acer ukurunduense* Trautv. et Mey.)等。

2 材料与方法

2.1 数据来源

在研究区设置 6 块面积 1 hm² (100 m × 100 m) 的固定样地,检尺所有胸径在 5 cm 以上林木的特征值,包括树种、胸径、树高、枝下高、冠幅等因子。按相邻格子法将样地划分成 100 个 10 m × 10 m 的小样方,并用皮尺测定每株林木的空间位置信息。根据主林层优势树种(组)林木生长情况及对应树种生长过程表得知,该研究区样地内林分处于中龄林到近熟林的阶段。各样地基本信息见表 1。在进行空间结构分析时,为了消除边缘效应,将标准地内距各边界 5 m 之内的范围确定为缓冲区,其余部分为

核心区。核心区内的林木全部作为对象木计算空间结构参数,缓冲区内部的林木仅作为相邻木,不参与空间结构参数统计^[21]。选择对象木周围最近的 4

株林木作为邻近木组建最小空间结构单元,据此计算相关空间结构参数^[22]。

表 1 样地基本概况
Table 1 The condition of sample plots

样地号 Plot code	林分密度 Stand density/ (trees · hm ⁻²)	树种组成 Species composition	坡位 Slope position	海拔 Altitude/m	郁闭度 Crown density
1	890	2 落 1 冷 1 枫 1 椴 1 白 1 杨 1 云 1 红 1 色 + 榆 + 杂 - 水 - 红 - 其他	中	760	0.8
2	871	2 云 2 冷 1 椴 1 红 1 落 1 枫 + 杨 + 杂 + 榆 + 白 - 其他	上	773	0.7
3	1 027	2 椴 2 云 1 枫 1 落 1 冷 1 红 1 色 + 杨 + 杂 + 榆 + 白 - 其他	中	780	0.7
4	849	2 冷 1 白 1 红 1 落 1 云 1 杂 1 椴 + 色 - 杨 - 其他	下	732	0.8
5	807	2 冷 2 红 1 椴 1 枫 1 云 1 落 1 色 + 杂 + 杨 + 白 - 榆 - 其他	下	749	0.7
6	883	2 枫 1 冷 1 红 1 落 1 云 1 椴 1 白 1 杨 + 杂 - 水 - 其他	下	759	0.8

2.2 分析方法

2.2.1 林木分类原则 按照目标树经营作业体系的方法,对样地内所有单株林木进行林木分类,分为目标树、干扰树、特殊目标树和一般林木 4 类^[2]。目标树是林分中生活力旺盛、干形通直完满、没有明显损伤和病虫害痕迹的实生林木;影响目标树生长的林木视为干扰树;对森林生态系统具有重要生态意义的林木记为特殊目标树;其余林木皆视为一般林木。各样地林木分类情况见表 2。其中,干扰树是

此次抚育采伐的主要对象,采伐前后林木分布格局的示意图见图 1。值得注意的是,在进行目标树的选定过程中要尽量使林分内林木的分布适当均匀,而且选定的树种尽可能是乡土树种或顶级树种,包括红松、云杉、冷杉、落叶松、水曲柳、椴树等;其次,部分树冠在目标树以下的下层冠级的竞争木不记作干扰树。再次,部分林木可能同时属于目标树和特殊目标树,如红松、水曲柳、红豆杉。

表 2 各样地林木类型分类情况
Table 2 The classification condition of tree type in sample plots

样地号 Plot code	林木类型 Tree type	株数 Numbers	平均胸径 Mean DBH /cm	平均树高 Mean Height/m	样地号 Plot code	林木类型 Tree type	株数 Numbers	平均胸径 Mean DBH /cm	平均树高 Mean Height/m
1	目标树	91	24.4	21.8	4	目标树	117	25.5	21.2
	干扰树	28	21.2	19.0		干扰树	44	18.6	17.2
	特殊目标树	41	21.7	15.8		特殊目标树	75	20.2	15.9
	一般林木	745	15.0	14.0		一般林木	633	13.9	13.3
2	目标树	86	25.7	21.6	5	目标树	110	26.4	21.9
	干扰树	27	19.5	17.0		干扰树	32	20.3	19.4
	特殊目标树	87	20.3	15.4		特殊目标树	61	24.8	17.5
	一般林木	686	14.0	13.9		一般林木	624	15.6	15.2
3	目标树	78	25.0	22.8	6	目标树	130	24.1	20.5
	干扰树	30	19.5	19.7		干扰树	44	20.6	18.4
	特殊目标树	261	19.4	18.3		特殊目标树	79	21.2	15.9
	一般林木	690	12.6	13.7		一般林木	653	14.9	14.4

2.2.2 林分空间结构评价指标计算 本研究采用的空间结构评价指标是在曹小玉等^[23]提出的林分空间结构指数的基础上进行的修改,它是基于乘除法的基本思想对全混交度、开敞度、林层指数、大小比数、交角竞争指数和角尺度 6 个指标进行的多目标规划;但在研究中发现,部分指标存在一些问题。首先,大小比数和交角竞争指数均反映了空间结构单元中对象木所处的竞争优劣度,两者存在信息重

叠;其次,大小比数是用于说明林分内某一种群情况的指标,不能用于反映林分整体的平均水平,因为大小比数是通过对象木与相邻木之间的对比关系计算所得的,这导致不同林分的平均大小比数值始终在 0.5 左右徘徊。再次,金沟岭林场地处温带地区,相比于南方亚热带、热带地区,其林层结构较为简单。因此,林层指数在本次研究中提供的信息不仅十分有限,而且存在信息干扰的风险。最后,全混交度虽

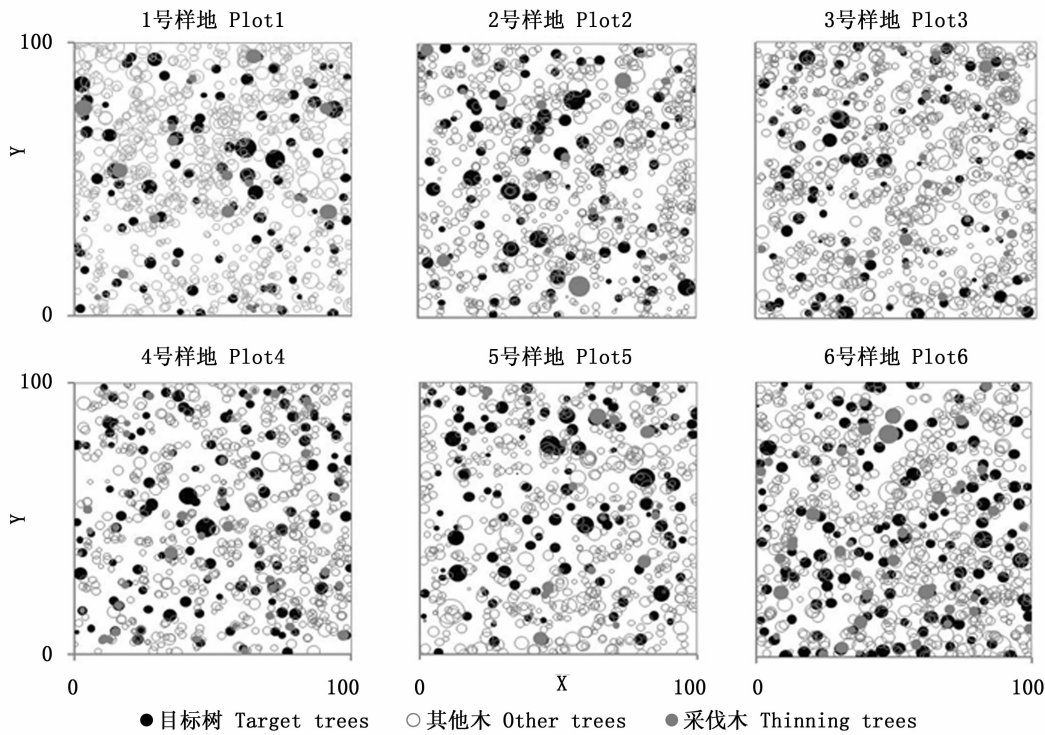


图 1 林木点格局示意图
Fig. 1 The location map of point pattern of tree

然在简单混交度基础上进行了改进,但其最大取值不为 1,这不仅不能准确表述林分中具有终极理想混交状况的林木,且不利于不同林木隔离程度的横向比较。因此,用全混交度计算的值存在缺陷。有鉴于此,在本次研究中使用的空间结构评价指数不考虑大小比数和林层指数 2 个指标,以减少信息冗余。用基于相邻木排列关系的混交度替代全混交度,以便提供完整的相关信息。其计算公式如下:

$$L_i = \frac{1 + Mp_i}{(1 + CI_{Hi}) \cdot \sigma_{Cl_H}} \cdot \frac{1 + K_i}{(1 + W_i) \cdot \sigma_K} \quad (1)$$

式中: Mp_i 、 K_i 、 CI_{Hi} 和 W_i 分别为基于相邻木排列关系的混交度、开敞度、基于交角的竞争指数和角尺度,在下文中均列出了具体的计算公式。 σ_{Mp} 、 σ_K 、

σ_{Cl_H} 和 σ_W 分别为上述 4 个指标的标准差。此外,为了直观地比较目标树抚育采伐前后林分空间结构评价指标的变化,采用归一化方法将指数值转化成[0,1]之间的无量纲数值,其值越接近 1 表明林分的空间结构状态越接近理想的林分结构。其计算公式如下:

$$x_i^* = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中: x_i 、 x_i^* 分别表示归一化前后的值; $x_{\min}$ 、 $x_{\max}$ 分别表示样本数据中的最小值和最大值。

2.2.3 树种隔离程度计算 本文采用基于相邻木排列关系的混交度,描述树种间的相互隔离程度,计算公式如下^[24]:

$$Mp_i = \sqrt[3]{\frac{1}{(2n)^3} \cdot (n_i + \sum_{j=1}^n v_{ij}) \cdot (\sum_{j=1}^n v_{j,j+1} + \sum_{j=1}^n v_{ij}) \cdot (\sum_{j=1}^n u_{j,j+1} + \sum_{j=1}^n v_{ij})} \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij} \quad (3)$$

式中: n 为空间结构单元中最近相邻木株数, v_{ij} 为对象木 i 与最近相邻木 j 的树种异同数,不同时 $v_{ij} = 1$,反之, $v_{ij} = 0$; $v_{j,j+1}$ 为相邻最近相邻木的树种异同数,不同时 $v_{j,j+1} = 1$,反之, $v_{j,j+1} = 0$,规定 $v_{n,n+1} = v_{n,1}$;令 $u_j = v_{j,j+1}$,当且仅当相邻 2 个 u_j 值都等于零时, $u_{j,j+1} = 0$;反之, $u_{j,j+1} = 1$,规定 $u_{n,n+1} = u_{n,1}$; n_i 为

最近邻木的树种数, Mp_i 为林木点混交度, $Mp_i \in [0, 1]$ 。将 Mp_i 的取值划分为 0 , $(0, 0.25]$, $(0.25, 0.5]$, $(0.5, 0.75]$, $(0.75, 1]$ 5 个区间,分别对应零度、弱度、中度、强度和极强度混交 5 个隔离程度。2.2.4 林木透光条件计算 本文采用开敞度,反映林木透光条件的优劣,计算公式为^[25]:

$$K_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{D_{ij}}{H_{ij}} \quad (4)$$

式中: D_{ij} 为对象木*i*与第*n*株邻近木*j*的水平距离; H_{ij} 为邻近木*j*的树高。 $K_i \in (0, +\infty]$,将开敞度的取值划分为 $(0, 0.2]$, $(0.2, 0.3]$, $(0.3, 0.4]$, $(0.4, 0.5]$, $(0.5, +\infty)$ 5 个区间,分别对应生长空间的 5 个状态:严重不足、不足、基本充足、充足和很充足。

2.2.5 林木竞争状况计算 本文采用基于交角的林木竞争指数,描述林木个体承受压力的大小,计算公式如下^[26]:

$$CI_{Hi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{(a_1 + a_2 \cdot c_{ij})_j}{180^\circ} \cdot U_i \quad (5)$$

式中:

$$a_1 = \begin{cases} \arctan(H_i/L_{ij}), & \text{如果 } H_j > H_i \\ \arctan(H_j/L_{ij}), & \text{否则} \end{cases}$$

$$a_2 = \arctan\left(\frac{H_j - H_i}{L_{ij}}\right)$$

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } H_j > H_i \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

$$U_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij}, \quad k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{如果 } D_j > D_i \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

其中, CI_{Hi} 为竞争指数, H_i 为对象木的树高, H_j 为相邻木的树高, L_{ij} 为对象木与相邻木之间的距离, n 为结构单元内相邻木的株数。 $CI_{Hi} \in [0, 1]$,数值越大,表明林木所承受的竞争压力越大。

2.2.6 林木空间分布格局计算 本文采用角尺度值反映林木的空间分布格局。首先采用角尺度法计算对象木的角尺度值,再用显著性检验方法判断林木的水平分布格局。角尺度计算公式为^[27]:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad (6)$$

$$\text{式中: } z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角小于标准角 } \alpha_0 \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

显著性检验的计算公式为^[28]:

$$\mu_w = \frac{\bar{W} - \bar{W}_E}{\sigma_{\bar{W}}} \quad (7)$$

式中: n 为核心区内林木株数, $\bar{W}$ 为林分的平均角尺度, $\bar{W}_E$ 为随机分布林分平均角尺度的数学期望, $\sigma_{\bar{W}}$ 为标准差。若 $|\mu_w| < 1.96$ (显著水平 $\alpha = 0.05$ 时的临界值)时,则判断为随机分布;若 $|\mu_w| \geq 1.96$ 时,当 $\bar{W} > \bar{W}_E$ 时为聚集分布,当 $\bar{W} < \bar{W}_E$ 时,则为均匀分布。

3 结果与分析

3.1 林木分类情况

由图 1 可知:选定的目标树在各样地中分布较为广泛,符合设计的要求。由表 2 可知:最终各样地内确定的目标树的株数皆在 100 株左右,均未超过样地林木总株数的 20%,并且其平均胸径和平均树高在各林木类型中皆为最优,表明选定的目标树多为优势木或主林层中的个体,结果符合目标树经营对目标树的择木原则和密度控制。各样地干扰树株数比重在 6% 以内,蓄积采伐强度未超过 10%。这一结果与林分的特征要求相符,该样地林分属于过伐林,并经历了一段时期的恢复,较次生林偏离原始林林分结构的程度低,宜采取低强度的抚育采伐经营活动。干扰树也同样具有较大的平均胸径和较高的平均树高,这是由于对目标树形成干扰的林木通常与目标树的大小接近或者更高更大,而低矮林木对目标树不构成干扰或者干扰极小。特殊目标树的特征在数据上表现为具有较大的平均胸径,而平均树高却较低。这是由于特殊目标树的选定通常不考虑干形和生活力,主要关注林木所提供的生态服务价值。因此,该类林木通常包括部分特殊的成过熟林木,其干形弯曲严重,经济价值较低,但能增加林木混交、保持树种结构与生物多样性。经初步分析来看,本次研究的林木分类效果较为理想,符合近自然经营的理论原理。

3.2 林木空间结构变化情况

目标树经营的重点对象是在林分中依据林木分类原则所确立的目标树,抚育采伐主要是围绕改善目标树的生长环境而展开的,本研究将从树种隔离程度、林木透光条件、林木竞争状况、林木空间分布格局 4 个方面对抚育前后目标树的生长环境变化情况进行分析。特殊目标树虽然不是经营的主要对象,但它在生态功能方面对整个森林生态系统具有重要作用,是林分内不可缺少的辅助林木,需要加以一定的保护,因此可从林木透光条件和林木竞争状况 2 个方面进行分析。

3.2.1 树种隔离程度 由表 3 可知:通过目标树抚育采伐使得各样地目标树的平均混交度得到了不同程度的提升,均向着更为理想的混交状态进一步靠近。其中,3 号样地提升效果最为明显,其值从 0.739 7 提升到 0.772 5,混交状况已提升为极强度混交。该研究区在上个世纪不同时期经历过几次高

强度的采伐,使原本以红松-云杉-冷杉为主的原始林林分结构遭到破坏;但与此同时,产生的大片林窗也为林木天然更新创造了优良条件,尤其是许多喜阳阔叶树种获得了较好的生长机会,丰富了林分内的树种组成,这使得研究区保持着较好的混交状况。目标树抚育采伐所确定的采伐木是依据目标树而选定的,在该研究区采伐木通常是目标树或干扰树的同种树种。这是因为研究区林分内的采伐木大部分属于以下两类情况:一类是与目标树同一时期更新发育起来在后期对目标树的生长产生干扰的树,而在经高强度采伐后遗留的林窗内更新发育起来的林木通常表现为同种林木团状分布。另一类是较目标树生长发育更早的树,这种情况下生长起来的目标树很有可能是当年干扰树就近天然下种的结果。因此,选择的采伐木通常与目标树或干扰树属同种树种,采伐后形成的新空间结构单元内的树种异质性提高,树种隔离程度也就更高。

表 3 目标树平均混交度变化情况

Table 3 The change of mean mingling of target trees

样地号 Plot code	平均混交度 Mean mingling	
	伐前 Before thinning	伐后 After thinning
1	0.707 8	0.723 2
2	0.662 7	0.683 5
3	0.739 7	0.772 5
4	0.592 3	0.611 5
5	0.631 3	0.639 9
6	0.721 5	0.730 0

3.2.2 林木透光条件 由表 4 可知:采伐前各样地目标树平均开敞度值均未超过 0.25,其中值最高的 6 号样地也仅为 0.246 5,均属于生长空间不足的状况。经目标树抚育采伐后,各样地目标树开敞度均得到一定程度的提升,绝大部分样地内其值超过了 0.25。其中,值最高的是 6 号样地,为 0.266 2。特殊目标树的平均开敞度值整体上低于目标树的平均开敞度值,经目标树抚育采伐后,其透光条件也得到了一定的改善。单从数值上看,目标树抚育采伐后并没有将目标树和特殊目标树的平均开敞度值提升到更高层级。究其原因,这是由于研究区具体的林分结构、所处的演替阶段和抚育采伐强度共同决定的。研究区林分整体上处于由中龄林过渡到近熟林的阶段,主林层中针叶树种占有优势,且在各林层中均占有一定比重,林分结构相对稳定,林分郁闭度保持在中度偏高的水平。其次,根据目标树经营的经验来看,类似研究区的异龄结构林分其目标树的密

度应控制在 100 株·hm⁻²左右,这在一定程度上决定了各样地中抚育采伐的强度不会太大。虽然鉴于上述两点原因,目标树和特殊目标树的透光条件改善效果在数值上不会表现的十分明显,但数值的变化仍然体现出目标树抚育采伐在此方面的积极作用。

表 4 目标树和特殊目标树平均开敞度变化情况

Table 4 The change of mean open-degree of target trees and special target trees

样地号 Plot code	目标树平均开敞度 Mean open-degree of target trees		特殊目标树平均开敞度 Mean open-degree of special target trees	
	伐前	伐后	伐前	伐后
	Before thinning	After thinning	Before thinning	After thinning
1	0.242 8	0.258 3	0.192 8	0.192 8
2	0.240 6	0.250 7	0.221 0	0.231 7
3	0.208 7	0.224 5	0.185 4	0.187 8
4	0.243 6	0.258 3	0.198 5	0.205 1
5	0.225 4	0.240 6	0.195 8	0.208 4
6	0.246 5	0.266 2	0.202 7	0.217 8

3.2.3 林木竞争状况 由表 5 可知:抚育采伐前各样地目标树的平均竞争指数均不到 0.1,保持在极低的水平,说明其承受的平均竞争压力极小。这是由于目标树通常是林分中健康高大的林木,因此竞争力较强。经目标树抚育采伐后,其效果虽不如上述两类指标展现出明显的规律性,但仍然能反映出整体规律。经采伐后,2、3、4 和 6 号样地的目标树平均竞争指数值得以进一步下降,表明目标树的竞争压力得以进一步减小。各样地内特殊目标树的平均竞争指数在抚育前后的变化情况较为一致,经目标树抚育采伐后其值均得以降低,表现出较好的优化效果;而 1 号和 5 号样地的目标树平均竞争指数在经过抚育采伐后反而变的更大,但这并不能因此得出这两块样地目标树的竞争压力在抚育采伐后变

表 5 目标树平均竞争指数变化情况

Table 5 The change of mean competition index of target trees

样地号 Plot code	目标树平均竞争指数 Mean competition index of target trees		特殊目标树平均竞争指数 Mean competition index of special target trees	
	伐前	伐后	伐前	伐后
	Before thinning	After thinning	Before thinning	After thinning
1	0.076 5	0.079 2	0.383 2	0.383 2
2	0.058 0	0.056 0	0.282 1	0.275 0
3	0.041 5	0.041 0	0.190 3	0.189 5
4	0.053 4	0.052 0	0.340 6	0.335 1
5	0.060 8	0.064 9	0.329 7	0.324 8
6	0.088 7	0.087 5	0.311 1	0.297 6

大的结论,此时必须结合整个林分的情况进行综合性分析。因为在抚育采伐后,重新构建的最小空间结构单元在寻找邻近木时存在一定的偶然性,即新的邻近木可能比原有的邻近木更高大,计算出的竞争指数也更大,从而极易造成误判。结合 1 号和 5 号样地林分整体的水平来看,目标树抚育采伐依然起着积极作用。因此,总的来看,抚育采伐后目标树和特殊目标树的林木竞争状况均得到进一步改善。

3.2.4 林木空间分布格局 由表 6 可知,1、2、3 和 6 号样地目标树的分布格局在抚育采伐前后均没有发生变化,而 4 号和 5 号样地则有所改变。4 号样地目标树的分布格局由聚集转变为随机,5 号样地目标树的分布格局由随机转变为聚集。由此可见,目标树抚育采伐对目标树林木空间分布格局的影响具有一定的不确定性。抚育采伐前后均没有出现均匀分布的格局,这也再次验证了该研究区天然林的林

分结构特征以及经高强度采伐后林木更新多发生在林窗内的综合结果。表 7 反映的是采伐前后目标树在不同角尺度水平的频数分布变化情况,从中可以看出目标树抚育采伐的积极作用。进行林分结构改造的期望结果是,目标树出现在“0”和“1”这类极端角尺度值的频数越小越好,尽可能多的分布在“0.5”周围。由表 7 可知:经目标树抚育采伐后,3 号样地中已经没有角尺度值为“0”的目标树。在 4 号样地中,角尺度为“1”的目标树减少了 2 株,而角尺度为“0.5”的目标树增加了 3 株。在 5 号样地中,角尺度值为“1”的目标树也得以减少。综合来看,目标树抚育采伐对目标树空间结构的影响在总体上呈现出积极作用,但仍具有一定的不确定性。因此,研究目标树空间结构的变化有必要结合多个指标进行全面综合的分析才能做出科学判断。

表 6 目标树分布格局变化情况
Table 6 The change of distribution pattern of target trees

样地号 Plot code	伐前 Before thinning					伐后 After thinning				
	<i>N</i>	$\bar{W}_{sp}$	σ_W	u_w	分布格局 Distribution pattern	<i>N</i>	$\bar{W}_{sp}$	σ_W	u_w	分布格局 Distribution pattern
1	71	0.489 4	0.026 2	0.404 7	随机	71	0.482 4	0.026 2	0.672 0	随机
2	73	0.510 3	0.025 8	0.398 6	随机	73	0.4966	0.0258	0.131 6	随机
3	65	0.534 6	0.027 3	1.265 2	随机	65	0.546 2	0.027 3	1.689 4	随机
4	90	0.566 7	0.023 3	2.859 4	聚集	90	0.544 4	0.023 3	1.903 4	随机
5	95	0.528 9	0.022 7	1.272 1	随机	95	0.547 4	0.022 7	2.086 5	聚集
6	95	0.484 2	0.022 7	0.695 5	随机	95	0.476 3	0.022 7	1.043 2	随机

表 7 目标树角尺度频数分布变化情况
Table 7 The change of frequency distribution of uniform angle index of target trees

类型 Type	样地号 Plot code	角尺度频数分布 Frequency distribution of uniform angle index				
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00
伐前 Before thinning	1	0	15	47	6	3
	2	0	14	46	9	4
	3	1	12	35	11	6
	4	0	13	51	15	11
	5	1	16	53	21	4
	6	1	23	55	13	3
伐后 After thinning	1	0	16	47	5	3
	2	0	16	46	7	4
	3	0	12	35	12	6
	4	1	13	54	13	9
	5	1	13	52	25	4
	6	1	25	53	14	2

3.3 林分空间结构评价指数变化情况

在目标树经营的体系当中,经营活动始终是围绕目标树展开的,目标树与周围邻近木所构成的最

小空间结构单元最直接地影响着目标树的生长。因此,目标树的最小空间结构单元的状况是研究关注的重点。虽然林分整体特征的平均状态不是开展目标树经营的主要出发点和立足点,但却是整个经营活动中必须兼顾的重要环节,它会通过一定的方式直接或间接地影响目标树的生长。从图 2 可以看出,经目标树抚育采伐后各样地的林分空间结构评价指数均得以提高。这说明此次以目标树为经营对象的抚育采伐作业措施,没有破坏各样地原有的林分空间结构状况,甚至使其向着更合理的方向进一步靠近。根据本次目标树抚育采伐后,林分在空间结构方面体现出的初期效应来看,是一次较为合理的、成功的经营措施。

4 讨论

本次目标树抚育采伐的经营效果从初期效应来看是较为合理的,这得益于前期对林分现状较为充

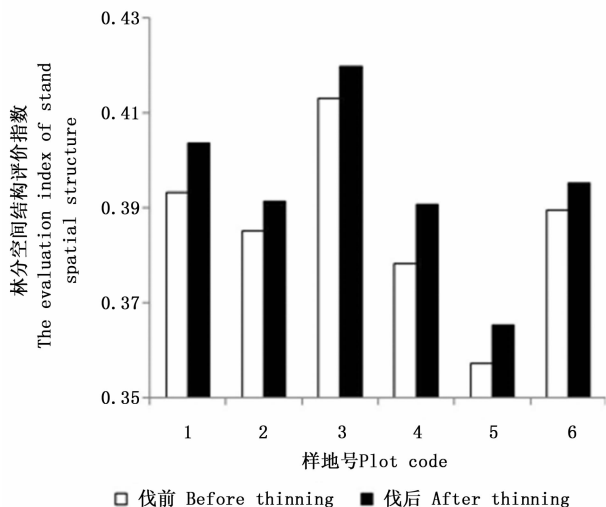


图2 林分空间结构评价指数变化情况

Fig. 2 The change of evaluation index of stand spatial structure

分的认识以及在此基础上所制定的科学经营措施。在选定目标树时,综合考虑树种和林木分布两项因素,尽可能选取乡土树种和顶级树种作为重点经营对象,使整个林分的结构保持稳定、实现良性循环;目标树的分布尽可能均匀地覆盖整个样地,在对单株林木实现重点经营的同时兼顾整个林分的结构优化。本次抚育采伐强度控制在10%以下,充分考虑了过伐林的林分结构特征,这既不破坏森林的整体格局,又能为目标树的生长提供更优越的空间,还能促进林下天然更新、加速幼树生长。

本研究得出的研究结论是林分在经历目标树抚育采伐后即时的空间结构状况,这也是采用空间结构参数评价林分状况所体现出的优势之一;但此时林分体现出的合理结构状态仅仅是抚育采伐后林分的初期效应,而林分的空间结构是在不断发展变化的。理想的初期效应是否意味着有利于林分今后长期的生长演替;即使证实了会产生积极的长期影响,这种初期效益的红利会持续多长时间;下一次开展林分空间结构调整的合理时间节点是何时等问题都值得进一步研究。因此,有必要对林分空间结构的变化趋势做长期持续的跟踪研究。

开展空间结构分析及评价的指标选取与应用均需要考虑具体的研究对象和研究内容。在本次空间结构的研究当中,没有采用在以往文献中使用率极高的大小比数这一指标,因为大小比数仅能用于表达种群或林分中某类树种的林木大小分化程度,有学者将林分中所有单株林木的大小比数平均值,用于表达林分水平的林木大小分化程度,这样的使用

方式是不合理的;在森林中开展采伐经营活动后,用竞争类指标分析林木竞争状况的变化时需要格外注意,由于最小空间结构单元构建的方式使得用竞争类指标反映经营活动对林木竞争状况的影响时极易产生误判。如何更合理地选取和应用这些指标是今后值得着重考虑的问题,因为它直接影响最终判断结果的正确与否。此外,从理论上讲,本文所采用的用于计算空间结构评价指数的各类指标对林分空间结构的贡献程度是有差别的,如何准确判定各指标贡献的大小,更精准的评价林分的空间结构状况也值得进一步研究。

5 结论

从目标树抚育采伐对目标树最小空间结构单元的影响来看:在树种隔离程度方面,抚育采伐使得所有样地中目标树空间结构混交水平得以进一步提高,个别样地有所突破,达到了最理想的极强度混交状态,积极作用效果显著;在林木透光条件方面,虽然受限于林分结构、演替阶段和采伐强度的影响,但抚育采伐对改善空间结构单元内透光条件的积极作用依然较为明显;在林木竞争状况方面,需要参考林分的整体变化情况做出判别,整体上仍然体现出了积极的作用;在林木空间分布格局方面,抚育采伐前后对目标树产生积极影响的可能性更大。从目标树抚育采伐对林分整体空间结构的影响来看:所有样地的林分空间结构状况均得到进一步改善。即经过目标树抚育采伐后,在没有破坏原有林分空间结构、降低林分空间结构水平的情况下,有针对性的改善了样地中目标树的空间结构状况,达到了经营活动的目的。

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.
- [2] 陆元昌. 近自然经营的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社. 2006.
- [3] Brenda L W, Arlyn W P. Crop tree management quick reference[M/OL]. <http://www.dnrcomell.edu/info/pubs/index.htm>, 2015-08-09.
- [4] Mille G W, Stringer J W, Mercker D C. Technical guide to crop tree release in hardwood forests: the University of Tennessee Agricultural Extension Service publication series PB1774[R/OL]. http://trace.tennessee.edu/utk_agexfores/19, 2015-08-11.
- [5] 李慧卿, 江泽平, 雷静品, 等. 近自然森林经营探讨[J]. 世界林业研究, 2007, 20(4): 6-11.

- [6] 盛炜彤, 范少辉. 杉木人工林的育林干扰对长期立地生产力的影响[J]. 林业科学, 2003, 39(5): 37-43.
- [7] 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.
- [8] 胡云云, 闵志强, 高 延, 等. 择伐对天然云冷杉林林分生长和结构的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 15-24.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 雷 蕾, 肖文发. 采伐对森林土壤碳库影响的不确定性[J]. 林业科学研究, 2015, 28(6): 892-899.
- [14] Schuler T M. Crop tree release improves competitiveness of northern red oak growing in association with black cherry[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 2006, 23(2): 77-82.
- [15] Patrick J B, Andrew P R, Ewel J J. Sudden and sustained response of *Acacia koa* crop trees to crown release in stagnant stands[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2008, 38(4): 656-666.
- [16] 吴 瑶, 李凤日, 秦凯伦, 等. 近自然经营技术对红松林土壤化学性质的影响[J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(1): 76-79.
- [17] 周建云, 李 荣, 何景峰, 等. 近自然经营对辽东栎林优势乔木更新的影响[J]. 林业科学, 2013, 49(8): 15-20.
- [18] 孙冬婧, 温远光, 罗应华, 等. 近自然化改造对杉木人工林物种多样性的影响[J]. 林业科学研究, 2015, 28(2): 202-208.
- [19] 惠刚盈, Gadow K V. 结构化森林经营原理[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- [20] 陈科屹, 张会儒, 雷相东, 等. 云冷杉过伐林垂直结构特征分析[J]. 林业科学研究, 2017, 30(3): 450-459.
- [21] 汤孟平. 森林空间经营理论与实践[M]. 中国林业出版社, 2007.
- [22] 惠刚盈, 克劳斯, 冯佳多. 森林空间结构量化分析方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2003.
- [23] 曹小玉, 李际平, 封 尧, 等. 杉木生态公益林林分空间结构分析及评价[J]. 林业科学, 2015, 51(7): 37-48.
- [24] 娄明华, 汤孟平, 仇建习, 等. 基于相邻木排列关系的混交度研究[J]. 生态学报, 2012, 32(24): 7774-7780.
- [25] 沈海龙, 王 龙, 林存学, 等. 开敞度调控对阔叶红松人工天然混交林上层阔叶树的影响[J]. 林业科学, 2014, 50(2): 22-30.
- [26] 惠刚盈, 胡艳波, 赵中华, 等. 基于交角的林木竞争指数[J]. 林业科学, 2013, 49(6): 68-73.
- [27] 惠刚盈, Gadow K. V., 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.
- [28] 赵中华, 惠刚盈, 胡艳波, 等. 角尺度判断林木水平分布格局的新方法[J]. 林业科学, 2016, 52(2): 10-16.

(责任编辑:彭南轩)