

马尾松近自然改造初期的混交度与分布格局

姜 鹏¹, 孟京辉^{1*}, 陆元昌², 王 霞¹

(1. 北京林业大学 林学院 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室,北京 100083;

2. 中国林业科学研究院 资源信息研究所,北京 100091)

摘要:近自然森林经营被广泛认为是优化森林结构进而实现森林多功能的有效途径。以中国林科院热带林业实验中心(简称热林中心)伏波林场内 1993 年春季杉木采伐迹地更新造林的马尾松人工纯林为研究对象,按照补植树种的不同,进行 4 种不同模式的近自然化改造设计和作业,并从林分混角度、林木空间分布格局 2 个方面对改造效果进行分析。结果表明:近自然化改造后的林分,混交度有了明显的提升,林木空间分布格局从最开始的均匀分布逐渐过渡为聚集分布或随机分布。因此,近自然化改造有利于优化林分空间结构,从而为森林多功能的发挥提供了前提基础。

关键词:近自然森林经营;马尾松人工纯林;改造效果

中图分类号:S791.248.06

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)05-0147-04

Minglings and Spatial Distribution of *Pinus massoniana* Plantation
in the Initial Stage of Near-nature Transformation

JIANG Peng¹, MENG Jing-hui^{1*}, LU Yuan-chang², WANG Xia¹

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: Near-nature forest management is regarded as the possible alternative to optimize stand structure and hence to realize the multiple forest functions. We transformed the pure *Pinus massoniana* plantations into near-nature forests with four silvicultural treatments varying with the underplanted tree species. The transformation effects in terms of stand mingling and spatial distribution pattern were analyzed. The result indicated that the stand mingling of transformed stands were significantly improved and the spatial distribution had shifted from even distribution to random or clustered distribution. We concluded that near-nature transformation which optimized the stand structure could provide the basic precondition to realize the multiple forest functions.

Key words: near-nature forest management; *Pinus massoniana* pure stand; transformation effect

林分的空间结构是林木的各种数量指标在空间上的排列方式,反映群落内物种的空间分布形式,主要包括随机分布、均匀分布和聚集分布,是描述林分结构的重要特征之一,通过林分结构的数量化特征就可以准确地掌握林分的稳定性和经营空间大小^[1-3]。掌握林分空间结构的信息就可以了解林分功能强弱,反映林分结构合理性,准确地描述林分结

构特征,对林分的林分结构与功能关系具有重要调控作用^[4]。林分空间结构指数主要包括分布格局指数、混交度、竞争指数^[5-7]。空间分布格局可以了解森林建立、林木更新、生长、死亡等生态过程^[8],主要采用 Ripley's K(d) 函数^[9]、聚集指数和角尺度^[10]。竞争指数的实质是树木个体对环境资源需求以及争取环境资源所承受的竞争压力,在形式上多表现为

收稿日期:2014-01-16 修回日期:2014-03-21

基金项目:国家自然基金项目“森林多功能经营在林分层面均衡结构量化及单木层面交互调控研究”(31300532)。

作者简介:姜鹏,男,在读博士生,研究方向:森林经理与经营。E-mail: jiangpeng210@126.com

* 通信作者:孟京辉,男,讲师,研究方向:近自然森林经营及模型模拟技术。

林木生长与其生存空间的关系^[11]。混交度是 K. V. Gadow^[12]等在 1992 年提出的概念,选择目标树周围最近 4 株邻木,找出与目标树不属同种的林木所占比例^[13]。近自然森林经营是强调模拟自然和遵循自然规律,利用森林生态系统自然规律来设计和经营森林,优化森林结构和功能,森林可以实现从自然更新到顶级群落这一完整森林生命循环过程,森林结构逐步导向混交异龄的稳定结构,并有利于森林多功能发挥,最后达到一种真正的生态与经济需求最佳结合的接近自然的森林经营模式^[14-16]。林分的空间结构对林木生长和经营等都有着重要的影响,是研究近自然经营的必要条件和制定近自然森林经营规划方案的前提^[17]。

从近自然经营理念出发,旨在营造结构复杂物种丰富的混交林,对广西试验地现有马尾松(*Pinus massoniana*)林采取不同方式,补植不同阔叶树,调整试验林分的水平分布格局、树种组成及竞争关系^[17],使林分空间由马尾松林向针阔混交林方向发展。本试验通过角尺度^[10]和混交度^[12]两方面的研究,对自然化改造初期的马尾松林分空间结构进行分析,引进不同阔叶树对林分空间结构改造起到了良好的效果,为林分空间结构改造和近自然森林经营措施的制定提供了参考。

1 研究区及数据概况

研究试验地位于广西省凭祥市西南部的中国林科院热带林业实验中心(简称热林中心)。热林中心地处广西西南边陲,位于 $21^{\circ}57'47'' - 22^{\circ}19'27''N$ 、 $106^{\circ}39'50'' - 106^{\circ}59'30''E$ 。横跨龙州、宁明县及凭祥市。西面、南面与越南交界;北面与龙州县下冻、彬桥、八角、上降乡接壤;东面与宁明县驮龙、寨安乡相邻。南北长 40 km,东西宽 34 km;总部设在凭祥市内,距离广西首府南宁市约 220 km^[18]。

试验计划改造的对象主体为马尾松,补充部分阔叶树人工林结构调整试验林分(表 1)。试验林分为改造和对照 2 种模式:改造模式按照林下补植阔叶树种的不同分为 4 种:A1、A2、A3、A4,对照模式为 A5。套种树种分别为红椎(*Castanopsis hystrix*)、灰木莲(*Magnoliaceae glanca*)、格木(*Erythrophleum fordii*)、大叶栎(*Quercus griffithii*)、铁力木(*Mesua ferrea*)和香梓楠(*Michelia hedysperma*)。采用随机区组方式安排不同处理,即这 5 种处理(A1—A5)在不同的地点重复 4 次。在每个区组中,针对每个处理,设立 1 个面积为 $400 m^2$ 的圆形样地。因此,1 个区组共计 5 个样地,有 4 个区

组,总共布设 20 块样地。

表 1 林下套种模式

Table 1 Model for enrichment planting

样地	处理模式	改造对象林分	套种树种
A1	松椎楠 1 针 2 阔叶	马尾松	红椎、灰木莲
A2	松格栎 1 针 2 阔林	马尾松	格木、大叶栎
A3	松铁火灰 1 针 3 阔	马尾松	铁力木、红椎、灰木莲
A4	松多阔植播林	马尾松	红椎、香梓楠、格木、大叶栎
A5	松纯林	马尾松	

2 研究方法

2.1 空间结构参数

2.1.1 林分混交度 树种多样性混交度是指目标树与最近邻木之间,以及最近邻木相互之间的树种空间隔离程度。树种多样性混交度除考虑目标树与最近邻木树种差异之外,还考虑最近邻木之间的树种异同^[19]。计算公式:

$$M_i = \sqrt{\frac{n_i}{n^2} \sum_{j=1}^n v_{ij}} \quad (1)$$

式中, M_i —目标树 i 的树种多样性混交度; n_i —目标树 i 的 n 株最近邻木中不同树种个数; n —最近邻木株数;

$$v_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{当目标树 } i \text{ 与第 } j \text{ 株最近邻木属不同树种} \\ 0 & \text{当目标树 } i \text{ 与第 } j \text{ 株最近邻木属同一树种} \end{cases} \quad (2)$$

按式(1)、式(2)计算的混交度是以目标树为中心的局部混交度。对林分则计算平均混交度:

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum M_i \quad (3)$$

式中, N —林分总株数; M_i —第 i 株树木的混交度。

2.1.2 林木空间分布格局 采用角尺度^[15]来量化林木空间分布格局。

从参照树出发,任意 2 个最近相邻木的夹角有 2 个,令小角为 α ,角尺度 W_i 被定义为 α 角小于标准角 α_0 的个数占所考察的最近 N 株相邻木的比例(一般取 $N=4$),即

$$W_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_{ij} \quad (4)$$

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

角尺度的可能取值和意义: $W_i = 0$ 说明所有相邻木间的角 α 都 $\geq \alpha_0$,表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别均匀的状态; $W_i = 0.25$ 说明有 1 个 α 角 $< \alpha_0$,表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是一般均匀的状态; $W_i = 0.5$ 说明有 2 个 α 角 $< \alpha_0$,表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别随机的状态;

$W_i=0.75$ 说明有 3 个 α 角 $<\alpha_0$, 表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是不均匀或一般随机的状态; $W_i=1$ 说明所有 α 角 $<\alpha_0$, 表示 4 株最近相邻木在参照树周围分布是特别不均匀的或聚集的状态。

角尺度既可用分布图,也可用分布的均值表达,角尺度分布图对称表示林木分布为随机即位于中间类型(随机)两侧的频率相等;若左侧大于右侧则为均匀;若右侧大于左侧则为团状。

更为精细的分析可以角尺度均值 \bar{W} 的置信区间为准:随机分布时 \bar{W} 取值范围为 $[0.475, 0.517]$; $\bar{W} > 0.517$ 时为团状分布; $\bar{W} < 0.475$ 时为均匀分布。 \bar{W} 用公式表示为:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N W_j = \frac{1}{4N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^4 Z_{ij} Z_{ij}$$

$$= \begin{cases} 1, & \text{当第 } j \text{ 个 } \alpha \text{ 角小于标准角 } \alpha_0 \text{ 时} \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

式中, N —林分内参照树的株数; i —任一参照树; j —参照树 i 的 4 株最近相邻木; W_i —角尺度即描述相邻木围绕参照树 i 的均匀性。一般取 $\alpha_0 = 72^\circ$ 。

2.2 统计分析方法

本次研究中比较上述空间分布参数使用的统计

表 3 2008—2012 年改造林分和对照林分混交度方差分析

Table 3 Analysis of variance for tests of minglings in 2008 and 2012

年份	来源	自由度	平方和	F	P>F	配对比较	
						2008	2010
2008	处理	4	0.295 0	1.902	0.215 0	A4> A3> A2> A1> A5	
	区组	3	1.570 2	13.501	0.002 69		
2010	处理	4	0.902 2	9.593	0.001 4	A2 ¹ > A1 ² > A3 ³ > A4 ⁴ > A5 ^{1,2,3,4}	
	区组	3	0.113 3	1.598	0.245 9		

注:配对检验中如果处理拥有同样的上标则表示 2 种差异显著。

由表 2 可知,随着时间的推移,对照林分的混交度从 2008 年的 0 上升到 2012 年的 0.278,其原因是天然更新的幼苗幼树逐步进入主林层的缘故。改造林分的混交度也呈现增加的趋势,并且增加的幅度较大,改造林分的组内方差也比较小,说明改造林分已经趋于稳定。对于改造林分而言,进入主林层的林木既包括补植的珍贵阔叶树种,也包括由于重度择伐形成的林窗所诱发的大量的天然更新(表 2,表 3)。方差分析进一步表明 2012 年的混交度则显著高于对照林分的混交度,但是配对 t 检验并没有表现出改造林分(A1—A5)之间的差异,但是我们认为随着时间的进一步推移,必将有一种改造模式的混交度明显优于其他改造模式。

3.2 林木分布格局动态变化

根据角尺度的定义,随机分布时 \bar{W} 取值范围为 $[0.475, 0.517]$; $\bar{W} > 0.517$ 时为团状分布; $\bar{W} < 0.475$ 时为均匀分布。2008 年,对照林分的角尺度 <0.475 为均匀分布,这正好符合人工林的特点。

方法为无交互作用的双因素试验的方差分析。

3 结果与分析

3.1 林木空间混交度动态变化

2008 年,改造林分的混交度有了明显的提升,而对照林分的混交度为 0。改造林分的混交度远大于对照林分,尽管差异并不显著(表 2,表 3)。这是因为改造林分内部的组内方差较大所致。说明在改造初期,改造林分并不稳定,林下补植的珍贵阔叶树种并没有或者没有较为完全地进入到主林层。而对于对照林分,也没有见到天然更新幼苗幼树的进入。

表 2 2008—2012 年改造林分和对照林分混交度

Table 2 Minglings in transformed and control stands in 2008 and 2012

改造模式	2008		2010	
	均值	标准差	均值	标准差
A1	0.185	0.370	0.890	0.048
A2	0.261	0.453	0.767	0.198
A3	0.404	0.572	0.786	0.075
A4	0.415	0.481	0.886	0.044
A5	0.000	0.000	0.315	0.278

而对照林分则表现出随机分布和团状分布的状态。其中,改造林分 A1、A2、A4 为随机分布, A3 则为团状分布(表 4)。改造林分的角尺度都高于对照林分,尽管方差分析差异不显著。

表 4 2008—2012 年改造样地和对照样地角尺度

Table 4 Uniform angle index in transformed and control stands in 2008 and 2012

改造模式	2008		2012	
	均值	标准差	均值	标准差
A1	0.494	0.066	0.510	0.023
A2	0.500	0.046	0.538	0.046
A3	0.522	0.004	0.535	0.008
A4	0.515	0.066	0.480	0.032
A5	0.404	0.111	0.421	0.066

随着时间的推移,2012 年无论是对照林分还是改造林分的角尺度都呈现增加的趋势,仅仅 A4 有所下降(表 5)。其原因可能是部分补植林木死亡的原因。其他林分角尺度增加的原因可能是补植的阔叶树种和天然更新逐步进入主林层,而补植和更新

的幼苗幼树的位置则呈现出不规则性。方差分析并没有显示改造林分的混交度明显高于对照林分,但是我们可以看出对照林分的混交度最低。改造林分

A2 和 A3 呈现出团状分布,A1 和 A4 为随机分布,对照林分 A5 仍然为均匀分布。

表 5 2008—2012 年改造林分和对照林分角尺度方差分析

Table 5 Analysis of variance for uniform angle index in 2008 and 2012

年份	来源	自由度	平方和	F	P>F	配对比较
2008	处理	4	0.002 35	0.119	0.971	A3> A4> A2> A1> A5
	区组	3	0.008 13	0.548	0.665	
2010	处理	4	0.011 983	2.157	0.141	A2> A3> A1> A4> A5
	区组	3	0.009 077	2.178	0.148	

注:配对检验中如果处理拥有同样的上标则表示 2 种差异显著。

4 结论与讨论

改造林分的混交度有了明显的提升,且远大于对照林分,随着时间的推移这种差距经逐步拉升。这说明近自然化改造,能够大大促进树种混交的实现,不仅丰富了树种的组成,而且提升了林木的空间混交程度。郝云庆^[17]采用间伐作业来调整柳杉林,提高了其林分的混交度,同时提高了林分中杉木的作用,优化柳杉林的结构和功能。此外,改造林分逐步过渡到随机分布或团状分布,而对照林分则始终保持单调的均匀分布结构,依然保持着人工林的典型特征^[17]。可见,近自然化改造能够促进林分空间结构的优化,从而进一步优化森林的稳定性,为森林多功能的实现提供了可行性。

改造后林分生物多样性明显提高,按其角度关系补植一些不同的树木^[17],大量地补植阔叶树种和天然更新树种逐步进入主林层,而且表现出随着时间的推移,多样性持续增加的趋势,进而使林分空间结构由均匀分布向随机分布转变^[2,17]。相比而言,对照林分生物多样性也呈现增加的趋势,但是增加的幅度较为缓慢。这主要是由于其进入主林层的阔叶树种主要来源于天然更新,而天然更新在高密度的人工林中也不容易发生。相比较而言,改造林分采用了重度择伐,产生了较大的林窗,充足的光照诱发了天然更新,特别是喜光先锋树种。再加上补植的阔叶树种进入主林层,所以改造林分的生物多样性明显优于对照林分。我们认为随着时间的进一步推移,改造林分中会有一种改造模式进一步脱颖而出,作为本地区近自然化改造的模式林分进行推广。

参考文献:

- 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996.
- 惠刚盈,李丽,赵中华. 林木空间分布格局分析方法[J]. 生态学报,2007,27(11):4717-4728.
- HUI G Y, LI L, ZHAO Z H. The comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11):4717-4728. (in Chinese)
- 倪静,宋西德,张永,等. 永寿县刺槐人工林空间结构研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3):24-27.
- NI J, SONG X D, ZHANG Y, et al. Forest stand spatial structure of *Robinia pseudoacacia* plantation in Yongshou county[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25 (3): 24-27. (in Chinese)
- 淑梅. 寒温带兴安落叶松林林分结构与天然更新研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2008.
- BELLA L E. A new competition model for individual tree [J]. Forest Science, 1971, 17:367-362.
- HEGYI F. A simulation model for managing jack-pine stands [M]// FRIES J, ed. Growth models for tree and stand simulation. Sweden: Royal College of Forestry, 1974: 74-90.
- BIGING G S, DOBBERTIN M. Evaluation of competition indices in individual tree growth models [J]. For. Sci., 1995, 41 (2): 360-377.
- MOEUR M. Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data [J]. For. Sci., 1993, 39:756-775.
- RIPLEY B D. Modelling spatial patterns [J]. J. Roy. Stat. Soc. B., 1977, 39:172-212.
- 惠刚盈, Von Gadow K, Albert M. 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) : 37-42.
- HUI G Y, VON GADOW K, ALBERT M. The neighborhood pattern—a new structure parameter for describing distribution of forest tree position[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1999, 35(1): 37-42. (in Chinese)
- 马履一,王希群. 生长空间竞争指数及其在油松、侧柏种内竞争中的应用研究[J]. 生态科学, 2006, 25(5): 385-389.
- GADOW K V, BREDENKAMP B. Forest management[M]. Pretoria: Academica, 1992.
- 惠刚盈,胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究 [J]. 林业科学研究, 2001, 14(1):23-27.
- STURM K. Die natürlichkeit zweier forstorte südostlich hannovers[J]. Beiträge zur Naturkunde Niedersachsens, 1984, 37:158-166.
- STURM K. Was bringt die naturgemäß waldwirtschaft für den naturschutz [J]. NNA Berichte Niedersachsen-Naturgemäß waldwirtschaft und Naturschutz, 1989, 2(3): 154-158.
- 陆元昌,甘敬. 21 世纪的森林经理发展动态[J]. 世界林业研究, 2002, 15(1):1-11.

(下转第 155 页)

- [1] LI J, SHAO Q Q, HUANG L. Review on the growth equations of *Pinus Massoniana*, *Cunninghamia Lanceolata* and *Pinus elliottii* in China[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 151-156. (in Chinese)
- [12] 李贤伟,胡庭兴,杨桢禄.马尾松天然林采伐年龄的研究[J].四川农业大学学报,1996,14(3):437-439.
- LI X W, HU T X, YANG Z L. A study on cutting age of *Pinus Massoniana* natural forest[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 1996, 14(3): 437-439. (in Chinese)
- [13] 唐守正,郎奎建,李海奎.统计和生物数学模型计算[M].北京:科学出版社,2009,308-310.
- [14] 穆新刚,崔相慧,王虹.冀北次生林 3 个树种林分生长过程表的编制[J].北京林业大学学报,2001,23(3):39-42.
- KANG X G, CUI X H, WANG H. Compilation of stand growth table for 3 tree species of secondary forest in North Hebei Province[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23(3):39-42. (in Chinese)
- [15] 葛宏立,孟宪宇,唐小明.应用于森林资源连续清查的生长模型系统[J].林业科学研究,2004,17(4):413-419.
- GE H L, MENG X Y, TANG X M. Growth model system for continuous forest inventory[J]. Forest Research, 2004, 17(4):413-419. (in Chinese)

(上接第 77 页)

- [10] 孙智慧,陆声链,郭新宇,等.基于点云数据的植物叶片曲面重构方法[J].农业工程学报,2012,28(3):184-190.
- SUN Z H, LU S L, GUO X Y, et al. Surfaces reconstruction of plant leaves based on point cloud data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(3):184-190. (in Chinese)
- [11] SERGIOS T, KONSTANTINOS K. 模式识别[M]. 4 版. 北京:电子工业出版社,2010.
- [12] 李二涛,张国煊,曾虹,等.基于最小二乘的曲面拟合算法研究[J].杭州电子科技大学学报,2009, 29(2): 48-51.
- LI E T, ZHANG G X, ZENG H, et al. Algorithm of surface fitting research based on least-squares methods[J]. Journal of Hangzhou Dianzi University, 2009, 29(2): 48-51. (in Chinese)
- [13] 丁克良,欧吉坤,赵春梅,等.正交最小二乘曲线拟合法[J].测绘科学,2007,32(3):18-19
- DING K L, OU J K, ZHAO C M, et al. Methods of the least-squares orthogonal distance fitting[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(3):18-19. (in Chinese)

- [14] 王玉花,冯浩,张坤,等.稳健正交最小二乘拟合法[J].佳木斯大学学报:自然科学版,2013,31(1):124-125,128.
- WANG Y H, FENG H, ZHANG K, et al. A robust method of the least squares orthogonal distance fitting[J]. Journal of Jiamusi University: Nat. Sci. Edi., 2013, 31(1): 124-125, 128. (in Chinese)
- [15] 曾清红,卢德唐.基于移动最小二乘法的曲线曲面拟合[J].工程图形学报,2004(1):84-89.
- ZENG Q H, LU D T. Curve and surface fitting based on moving least-squares methods[J]. Journal of Engineering Graphics, 2004(1):84-89. (in Chinese)
- [16] 程玉民.移动最小二乘法研究进展与评述[J].计算机辅助工程,2009,18(2):5-11.
- CHENG Y M. Advances and review on moving least-square methods[J]. Computer Aided Engineering, 2009, 18(2): 5-11. (in Chinese)

(上接第 150 页)

- [17] 郝云庆,王金锡,王启和,等.柳杉纯林改造后林分空间结构变化预测[J].林业科学,2006,42(8):8-12.
- HAO Y Q, WANG J X, WANG Q H, et al. Preview of spatial structure of *Cryptomeria fortunei* plantation after stand improvement [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(8): 8-

12. (in Chinese)
- [18] 刘恩.南亚热带典型人工林碳储量研究[D].北京:中国林业科学研究院, 2012.
- [19] 惠刚盈.结构化森林经营[M].北京:中国林业出版社, 2007.