

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.01.001

蒙古栎次生林林木竞争对不同抚育间伐方式的响应

胡雪凡^{1,2}, 段光爽³, 张会儒^{1,2,4*}, 卢军^{1,2}, 张晓红^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091; 2. 国家林业和草原局森林经营与生长模拟重点实验室, 北京 100091; 3. 信阳师范学院数学与统计学院, 河南 信阳 464000; 4. 国家林业和草原局森林经营工程技术研究中心, 北京 100091)

摘要: [目的] 以长白山林区蒙古栎次生林为研究对象, 分析其林木竞争关系及对不同抚育间伐方式的响应, 为了解此类群落的生态适应机理及制定合理的经营措施提供依据。[方法] 2013年在吉林汪清设置12块样地, 开展传统经营(T1)、目标树经营密度1和密度2(T2, T3)以及对照试验(T0), 2018年进行了复测。通过有序样本聚类的方法确定Hegyi指数竞争木数量并分析了蒙古栎次生林的竞争关系以及各林层、优势树种及目标树的竞争关系对不同抚育间伐方式的响应。[结果] (1) 蒙古栎次生林样地的优势树种为: 蒙古栎、红松和白桦, Hegyi指数最佳相邻竞争木个数为8。(2) 样地内主要树种的总竞争排序为: 蒙古栎>红松>色木槭>糠椴>白桦>大青杨>落叶松>水曲柳>黑桦; 主要树种的平均种间竞争略高于平均种内竞争。(3) T2, T3上林层竞争明显降低; 4种抚育间伐方式均降低了白桦和蒙古栎的竞争强度, 其中T3下降的幅度最大; 红松的竞争强度仅在T0升高; 对于优势树种来说, T2, T3来自糠椴和色木槭的种间竞争增大, 而来自大青杨的种间竞争减小; T2和T3对目标树竞争的减缓作用明显优于T0和T1。[结论] 基于目标树经营的抚育间伐能够有效降低蒙古栎次生林上林层及优势树种的竞争, 从而可针对性培育目标树种, 引导林分的正向演替, 进一步验证了目标树经营的可行性和合理性。

关键词: 目标树经营; 蒙古栎次生林; 间伐; 有序样本聚类; 竞争关系

中图分类号: S753

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2021)01-0001-09

竞争是生物间相互作用的重要方面之一^[1], 可分为种内和种间竞争, 对林木个体的生长发育、森林群落的结构和群落演替进程都有影响。林木竞争状况多通过林木竞争指数来反映, 竞争指数对林木之间的竞争进行了定量描述, 在形式上反映了林木个体生长与生存空间的关系, 实质上反映了树木对环境资源需求及其在获取环境资源时要承受的竞争压力^[2]。竞争随着林龄的增加以及经营措施和环境的改变而发生改变^[3], 目前国内学者对种内和种间竞争的研究主要体现在优势树种种内和种间竞争现状的分析^[1, 4-6], 有少量关于群落种内和种间竞争随

时间变化的研究^[7], 但对林分内的竞争关系尤其是种内和种间竞争对经营措施的响应研究较少。研究林分的竞争关系及其对经营措施的响应对维护森林生态系统的稳定, 更好实现森林的各项功能, 科学的经营和管理森林至关重要^[8]。

国内目标树经营相关的研究多集中在对林分生长、结构、更新、生物多样性等的影响^[9-12], 对林木竞争的影响研究较少。蒙古栎(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb)次生林在我国东北地区分布范围很广, 多为阔叶红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)林过伐后形成的处于次生演替阶段的森林群落, 林

收稿日期: 2020-01-11 修回日期: 2020-03-10

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2017YFC0504101)

* 通讯作者: 张会儒, 研究员、博士生导师。主要研究方向: 森林可持续经营。E-mail: huiru@ifrit.ac.cn

地生产力较低且生态功能退化,如何通过经营来改善其林分状况,提高其经济价值和生态效益有很重要的意义^[13]。

本研究以蒙古次生林为对象,分析了林木竞争关系以及不同抚育间伐方式对林分内竞争状态的影响差异。为了解蒙古栎次生林内部竞争关系及抚育间伐方式对竞争关系的影响效应和机制提供依据。

1 研究区概况

研究区位于吉林省汪清林业局塔子沟林场,地理坐标为 129°97′~130°22′ E, 43°32′~43°49′ N。林区地貌以低山丘陵为主,土壤以暗棕壤为主。气候为温带大陆性季风气候,年均温 3.9℃ 左右,1 月份平均气温最低,约为-32℃;7 月份平均气温最高,约为 22℃,年均降水量为 600~700 mm,多集中在夏季^[12]。

研究区主要乔木树种有蒙古栎、红松、白桦 (*Betula platyphylla* Suk.)、大青杨 (*Populus ussuriensis* Kom.)、糠椴 (*Tilia mandshurica* Rup et Maxim.)、春榆 (*Ulmus davidiana* Planch. var. *japonica* (Rehd.) Nakai)、色木槭 (*Acer pictum* Thunb. ex Murray)、长白落叶松 (*Larix olgensis* Henry)、黑桦 (*Betula dahurica* Pall.)、水曲柳 (*Fraxinus mandshurica* Rupr.)、臭冷杉 (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.)、鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis* Carr. var. *microsperma* (Lindl.) Cheng et L. K. Fu)、黄檗 (*Phellodendron amurense* Rupr.) 等^[12]。

2 材料与方法

2.1 数据来源

2013 年在塔子沟林场选择具有代表性的蒙古栎次生林林分(林龄 40~70 a),设置 12 块面积为 1 hm² (100 m×100 m) 的固定监测样地。调查样地内胸径 5 cm 及以上的林木,测量并记录坐标、树种、胸径、树高等信息。对 12 块样地采取完全随机区组设计,各组林木胸径、蓄积及断面积无显著差异。试验设置 4 种处理,3 次重复。4 种处理包括:(1)传统经营,即 T1 处理(1、7、9 号样地),遵循《森林抚育规程》(GB/T15781—2009)的规定进行抚育间伐设计,采伐强度控制在 25% 以下,采伐对象主要是生长不良的林木,伐后郁闭度在 0.6 以上;(2)目标树经营密度 1,

即 T2 处理(2、4、11 号样地),按照目标树单株木集约经营理念制定采伐设计,用材目标树选取密度约为 70 株·hm⁻²,目标树的树种选择上优先考虑乡土的、价值比较高的以及此类群落演替的顶级树种。另外考虑了林木生命力、质量和距离 3 种因素,将影响目标树生长的林木确定为采伐木;

(3)目标树经营密度 2,即 T3 处理(3、8、10 号样地),用材目标树选取密度为 100 株·hm⁻²,其余措施与 T2 一致。(4)对照样地,即 T0 处理(5、6、12 号样地)。为便于对比试验,T0 和 T1 按照 100 株·hm⁻² 选取了目标树。2018 年 9 月对所有样地进行了复测,抚育经营前样地信息见表 1。

样地边缘林木的竞争木可能处于边界之外,因此本研究将样地边界 5 m 内区域视为缓冲区,其中林木只作竞争木来参与计算,核心区(90 m×90 m)的林木既作为竞争木又作为对象木参与计算。

2.2 研究方法

2.2.1 优势树种确定 采用优势度分析法来确定优势树种^[4,14]。具体方法是计算蒙古栎次生林乔木树种的相对胸高断面积,作为优势度,然后通过公式(1)确定优势树种个数。

$$d = \frac{1}{N} \left[\sum_{i \in T} (x_i - x)^2 + \sum_{j \in U} x_j^2 \right] \quad (1)$$

式中: d 表示确定优势树种个数的阈值, N 为总树种数, T 为优势度排位在前的树种,即上位种, U 为优势度排位在后的树种,及剩余种 x_i 为上位种(T) 的优势度, x 为优势树种所占的理想百分比, x_j 为剩余种的优势度。如果乔木层只有一个优势树种,那么理想百分比为 100%;如果有两个优势树种,则理想百分比为 50%;如果有 3 个优势树种,理想百分比为 33.3%,以此类推来分别计算 d 值。认为当 d 取值最小时的上位种数为优势树种个数 M_1 ,最后将优势度从大到小排序,选择前 M_1 个树种作为该样地的优势树种。

主要树种确定标准是:12 块蒙古栎次生林样地中,树种均出现且断面积占比达到 1%。这样能更充分反映林分内的竞争关系,而种内和种间竞争关系仅着重分析了优势树种。

2.2.2 竞争指数 选择应用最广泛的 Hegyi 竞争指数^[15],计算方法如下:

表 1 样地基本概况

Table 1 General description of sample plots

样地号 Plot code	处理 Treatments	树种组成 Species composition	郁闭度 Canopy density	密度/ (株·hm ⁻²) Stand density	胸径 Diameter/cm			树高 Height/m		
					最小 Min.	最大 Max.	平均 Average	最小 Min.	最大 Max.	平均 Average
ZH-01	T1	6蒙1杨1白1红1色	0.66	825	5.0	66.0	14.6	2.0	29.6	11.0
ZH-02	T2	4蒙2杨1椴1白1色1红	0.71	957	5.0	59.1	13.7	0.5	24.1	11.1
ZH-03	T3	4蒙2白1色1椴1杨1红	0.72	1 115	5.0	55.7	12.9	1.3	28.5	10.2
ZH-04	T2	4蒙2白1椴1红1色1杨	0.83	1 058	5.0	50.2	13.6	1.5	25.8	10.9
ZH-05	T0	5蒙1红1椴1色1白1杨	0.74	1 089	5.0	53.8	15.1	1.4	21.8	10.0
ZH-06	T0	4蒙3白2杂1落	0.46	617	5.0	50.7	15.0	1.8	27.1	13.3
ZH-07	T1	5蒙2杂1白1红1黑	0.85	1 071	5.0	50.9	13.1	1.5	21.8	8.9
ZH-08	T3	5蒙2白1红1杂1黑	0.88	1 162	5.0	58.5	12.8	3.2	31.1	10.9
ZH-09	T1	6蒙2杂1杨1水	0.90	857	5.0	52.2	14.3	1.4	18.9	9.8
ZH-10	T3	6蒙2白1杂1黑	0.77	1 011	5.0	70.1	14.3	3.1	29.4	11.7
ZH-11	T2	4蒙2白1杂1色1红1椴	0.87	1 054	5.0	58.2	14.1	2.2	26.5	10.9
ZH-12	T0	5蒙2落1杂1白1水	0.67	754	5.0	65.3	15.9	1.4	23.4	11.0

注: ZH代表蒙古栎次生林, 蒙代表蒙古栎, 白代表白桦, 杨代表大青杨, 红代表红松, 色代表色木槭, 椴代表糠椴, 落代表白落叶松, 黑代表黑桦, 胡代表胡桃楸, 水代表水曲柳, 杂代表其他树种。Notes: ZH stands for natural secondary *Quercus mongolica* forest, 蒙. Stands for *Quercus mongolica*, 白. Stands for *Betula platyphylla*, 杨. Stands for *Populus ussuriensis*, 红. Stands for *Pinus koraiensis*, 色. Stands for *Acer pictum*, 椴. Stands for *Tilia mandshurica*, 落. Stands for *Larix olgensis*, 黑. Stands for *Betula dahurica*, 水. Stands for *Fraxinus mandshurica*, 杂. Stands for other tree species.

$$Hegy_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j}{D_i} \cdot \frac{1}{d_{ij}} \right) \quad (2)$$

$$Hegy_i = \sum_{i=1}^n Hegy_i \quad (3)$$

$$Hegy_m = \frac{1}{n} Hegy_i \quad (4)$$

其中: $Hegy_i$ 表示第 i 株对象木的竞争指数, D_j 表示第 j 个竞争木的胸径, D_i 表示第 i 个对象木的胸径, d_{ij} 表示第 i 个对象木与第 j 个竞争木之间的水平距离, n 表示对象木的竞争木个数, $Hegy_i$ 表示总竞争指数, $Hegy_m$ 表示平均竞争指数。种内竞争指数 ($Hegy_{intra}$) 和种间竞争指数 ($Hegy_{inter}$), 定义为将竞争木中与对象木树种相同的和不同的分别作为竞争木计算得出的竞争指数。平均种内竞争指数 ($Hegy_{intra_m}$) 和平均种间竞争指数 ($Hegy_{inter_m}$) 分别是 $Hegy_{intra}$ 和 $Hegy_{inter}$ 的平均值。这些竞争指数值越大代表竞争越激烈。

2.2.3 竞争木的选取 目前竞争木选择的方法主要有胸高断面面积法^[16]、固定半径法^[15]、影响域法等。一些学者^[17]指出竞争木个数选择应为 4, 而另一些研究有不同见解^[18-21]。本研究采用有序样本聚类分析的方法^[22]来确定竞争木个数, 即依次选取距离

对象木最近的 n 株相邻木作为竞争木, 分别计算样地的 $Hegy_i$ 、 $Hegy_{intra}$ 、 $Hegy_{inter}$ 、 $Hegy_m$ 、 $Hegy_{intra_m}$ 和 $Hegy_{inter_m}$ 。以这些竞争指数作为分类样本, 采用有序样本聚类分析法分成 2 类, 根据分类结果的一致性来确定竞争木个数。有序样本聚类算法采用最优分割法 (或 Fisher 法) 进行分类, 其递推公式为:

$$\varphi(p_0(2, n)) = \min_{2 \leq j \leq n} \{\varphi(p_0(1, j-1)) + D(j, n)\} \quad (5)$$

式中 φ 表示分类的损失函数, p_0 表示某一种分类方案, n 表示竞争木个数, 这里 $n=3, 4, 5, \dots, 14$, D 表示某类样本离差平方和。

3 研究结果

3.1 优势树种和主要树种

根据抚育经营前样地调查的数据, 利用公式 (1) 计算得出优势树种为蒙古栎、红松、白桦和杂木, 这些树种胸高断面面积和株数分别占样地总量的 75.41% 和 70.26% (表 2)。杂木主要是青楷槭 (*Acer tegmentosum* Maxim.) 等小乔木树种, 多为丛状分布, 因此确定样地的优势树种为蒙古栎、红松和白桦; 主要树种为蒙古栎、白桦、红松、色木、糠椴、大青杨、水曲柳、落叶松和黑桦 (表 2)。

表2 蒙古栎样地树种株数及胸高断面积

Table 2 The number and basal area of tree species in Mongolian oak plots

优势树种 Dominant tree species	胸高断面积 Basal area/(m ² ·hm ⁻²)	比例 Percent/%	株数 Tree number/(tree·hm ⁻²)	比例 Percent/%	d值 d value
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	9.82	47.82	284	29.50	0.022 2
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	2.82	13.76	81	8.44	0.010 9
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	1.44	7.00	167	17.30	0.010 3
杂木 Other tree species	1.40	6.83	145	15.02	0.010 1
大青杨 <i>Populus ussuriensis</i>	1.21	5.92	64	6.59	0.010 2
色木槭 <i>Acer pictum</i>	1.06	5.15	92	9.53	0.010 4
糠椴 <i>Tilia mandshurica</i>	1.02	4.99	54	5.56	0.010 7
长白落叶松 <i>Larix olgensis</i>	0.68	3.29	33	3.39	0.011 1
黑桦 <i>Betula dahurica</i>	0.52	2.52	11	1.11	0.011 6
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	0.27	1.29	8	0.85	0.012 2

3.2 竞争木确定

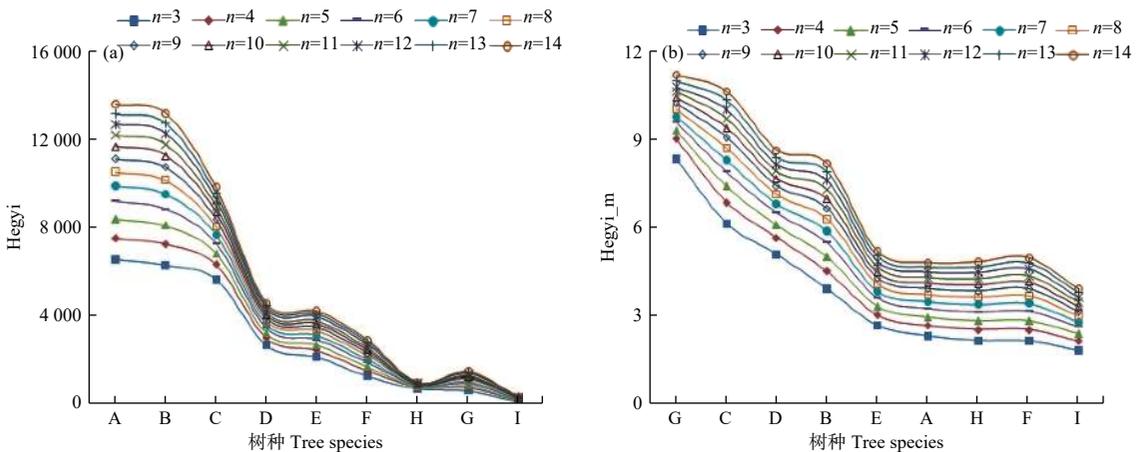
利用抚育经营前样地调查数据, 样地内主要树种的 $Hegyi$ 和 $Hegyi_m$ 随竞争木株数 n 增加的计算结果如图1所示。

随着竞争木增多, $Hegyi$ 和 $Hegyi_m$ 呈上升趋势, 且上升趋势逐步减缓。竞争强度较大树种的竞争排位并不随着选择竞争木数量的增多而改变。而竞争强度较低的树种的竞争排序因竞争木选择的数量不同而发生变化。各竞争指数 $Hegyi$ 、 $Hegyi_{intra}$ 、 $Hegyi_{inter}$ 、 $Hegyi_m$ 、 $Hegyi_{intra_m}$ 和 $Hegyi_{inter_m}$ 的分类结果一致: [3,4,5,6,7] 和 [8,9,10,11,12,13,14], 这种划分下, 组内残差平方和最小,

也即7和8为最优分割点。考虑到竞争木株数越多, 计算值越稳定, 本研究选取8个竞争木来计算 $Hegyi$, 从而分析抚育经营前林分的竞争状态及竞争对间伐的响应。

3.3 抚育经营前林木竞争状态分析

单因子方差分析显示 $Hegyi$, $Hegyi_{intra}$ 和 $Hegyi_{inter}$ 在 T0, T1, T2 和 T3 下无显著差异。样地内主要树种的 $Hegyi$ 排序为: 蒙古栎>红松>色木槭>糠椴>白桦>大青杨>落叶松>水曲柳>黑桦, 树种的竞争排序和株数有明显的正相关关系(图2a)。样地主要树种的 $Hegyi_m$ 排序为: 水曲柳>色木槭>糠椴>红松>白桦>蒙古栎>落叶松>大青杨>黑桦



注: A 代表蒙古栎, B 代表红松, C 代表色木槭, D 代表糠椴, E 代表白桦, F 代表大青杨, G 代表水曲柳, H 代表落叶松, I 代表黑桦, 下同。
Notes: A. stands for *Quercus mongolica*, B. stands for *Pinus koraiensis*, C. stands for *Acer pictum*, D. stands for *Tilia mandshurica*, E. stands for *Betula platyphylla*, F. stands for *Populus ussuriensis*, G. stands for *Fraxinus mandshurica*, H. stands for *Larix olgensis*, I. stands for *Betula dahurica*, The same below.

图1 基于不同竞争木数量的主要树种总竞争指数 (a) 和平均竞争指数 (b)

Fig. 1 The total (a) and average (b) competition index of the main species based on the different number of competing neighbors

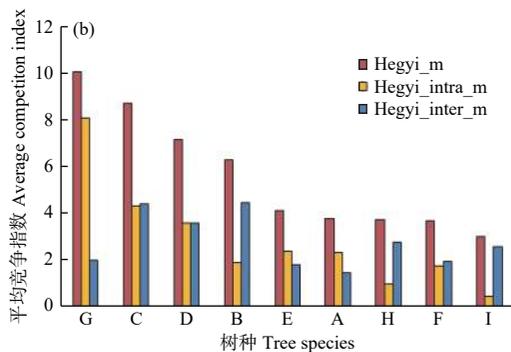
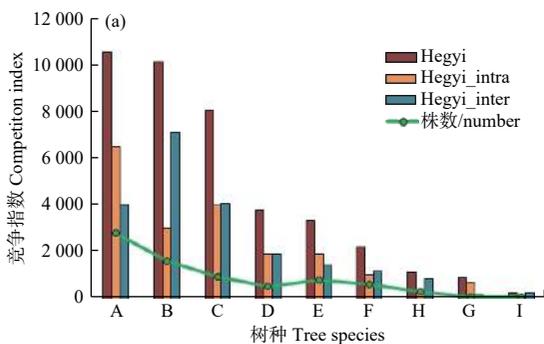


图 2 主要树种的总竞争指数 (a) 和平均竞争指数 (b)

Fig. 2 Total(a) and average(b) competition index of main tree species

(图 2b)。种内竞争大于种间竞争的树种为: 蒙古栎、白桦、水曲柳, 种间竞争大于种内竞争的为: 红松、色木槭、糠椴、大青杨、落叶松和黑桦, 样地内种内竞争 (30132) 略低于种间竞争 (31937) (图 2a)。

3.4 林分内竞争对不同抚育间伐方式的响应

3.4.1 不同林层竞争强度对不同抚育间伐方式的响应 按照国际林联 (IUFRO) 的标准划分林层^[23]。根据两期调查数据 (2013 年和 2018 年) 分别对各个林层的 *Hegyi* 和 *Hegyi_m* 进行统计 (表 3)。

2013 年各林层的 *Hegyi* 排序为中林层>下林层>上林层, 2018 年 T0, T2 和 T3 各林层的竞争表现与 2013 年类似, 只有 T1 的总竞争强度表现为中林层>上林层>下林层。2013 年和 2018 年的 *Hegyi_m* 均呈现为下林层>中林层>上林层。*Hegyi* 变化方面: T0 下林层降低 53%, 而中、上林层分别提高 12% 和 14%, T1 下林层大幅降低 (86%), 但中上林层升高, T2, T3 上林层分别下降了 19% 和 38%, 下林层也呈降低趋势, 中林层均有所提高。就 *Hegyi_m* 的变化来说, T0 下林层和上林层分别下降了 9% 和 8%, 中林层提高 14%, T1 下林层和中林层有所上升, 上林层略有降低。T2 和 T3 中林层和上林层下降, 下林层上升。

3.4.2 优势树种竞争对不同抚育间伐方式的响应 2018 年优势树种的竞争较 2013 年发生了明显变化 (表 4)。4 种方式下白桦和蒙古栎的 *Hegyi* 和 *Hegyi_m* 均有呈下降趋势, T2 红松的 *Hegyi_m* 和 T1, T3 红松的 *Hegyi* 和 *Hegyi_m* 均呈下降趋势。T2, T3 白桦的 *Hegyi* 和 *Hegyi_m* 下降幅度最大, T0 下降幅度最小, T3 红松的 *Hegyi* 和 *Hegyi_m* 下降幅度较大, T1 对蒙古栎的竞争影响最小。

3.4.3 种内种间竞争对不同抚育间伐方式的响应 4 种

表 3 不同抚育间伐方式下各林层的 *Hegyi* 和 *Hegyi_m*
Table 3 *Hegyi* and *Hegyi_m* of different forest story in different treatment

处理 Treatment	林层 Forest story	<i>Hegyi</i>		<i>Hegyi_m</i>	
		2013	2018	2013	2018
T0	下林层 Downstory	4 175.94	1 957.86	8.94	8.16
	中林层 Middle story	5 106.43	5 729.61	5.11	5.85
	上林层 Up story	1 211.92	1 384.12	2.33	2.15
T1	下林层 Downstory	4 181.23	595.78	8.67	10.45
	中林层 Middle story	5 612.26	7 866.84	5.42	6.24
	上林层 Up story	2 013.44	2 203.51	2.94	2.62
T2	下林层 Downstory	4 285.51	2 765.44	8.23	10.72
	中林层 Middle story	8 441.90	9 218.68	6.32	6.03
	上林层 Up story	1 801.41	1 453.73	2.58	2.13
T3	下林层 Downstory	6 181.70	3 299.76	7.85	8.50
	中林层 Middle story	6 974.19	8 485.58	5.82	5.48
	上林层 Up story	1 754.21	1 090.48	2.48	1.95

方式下 *Hegyi_intra_m* 均呈下降趋势 (图 3), 分别下降 18%, 21%, 13% 和 15%, *Hegyi_inter_m* 基本呈上升趋势 (图 3), 但上升幅度较小, 其中 T1 上升最明显 (8%)。

由图 4 可知, 蒙古栎的种间竞争树种主要是红松和白桦。T0 方式下, 两期 (2013, 2018) 蒙古栎种间竞争树种的竞争强度及排序变化不大。T1 方式下, 蒙古栎竞争树种排序未发生变化, 来自红松的竞争有所提升, 来自白桦和大青杨的竞争有所减少, 其他树种变化不大。T2 方式下, 来自

表4 不同抚育间伐方式下优势树种 *Hegyi*, *Hegyi_m* 的变化

Table 4 Changes of *Hegyi* and *Hegyi_m* under different tending and thinning measures

处理 Treatment	树种 Species	<i>Hegyi</i>		<i>Hegyi_m</i>	
		2013	2018	2013	2018
T0	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	399.04	295.54	3.47	2.90
	红松 <i>Pinus koraiensis</i>	1 843.18	2 160.02	6.85	7.25
	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	1 799.72	1 310.16	3.27	2.74
T1	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	341.03	213.97	3.67	2.82
	红松 <i>Pinus koraiensis</i>	2 074.83	1 928.72	5.84	5.76
	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	2 648.66	2 239.84	3.55	3.22
T2	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	1 273.16	783.27	4.22	3.29
	红松 <i>Pinus koraiensis</i>	2 535.81	2 759.87	6.25	6.20
	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	2 506.09	1 952.00	3.97	3.48
T3	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	1 330.06	693.11	4.35	3.19
	红松 <i>Pinus koraiensis</i>	3 693.93	3 111.12	6.36	6.25
	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	3 574.54	2 608.78	4.02	3.34

红松和糠椴的竞争提高, 来自白桦和大青杨的竞争降低。T3 方式下, 来自白桦的竞争减少, 而来自红松的竞争提高。

红松主要的竞争树种是蒙古栎, T0 红松的竞争树种强度排序变化不大, 但来自落叶松和水曲柳的竞争强度增大, 来自蒙古栎、糠椴和大青杨的竞争强度有所下降。T1 主要竞争树种的强度排序发

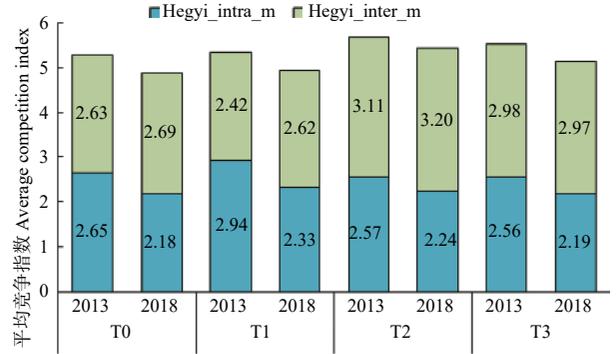


图3 *Hegyi_intra_m* 和 *Hegyi_inter_m* 对不同抚育间伐方式的响应

Fig. 3 Response of *Hegyi_intra_m* and *Hegyi_inter_m* to different thinning treatment

生部分变化, 但强度变化不大。T2 红松的竞争树种强度排序无变化, 但来自白桦的竞争有所下降, 来自色木槭和糠椴的竞争强度提高。T3 主要竞争树种的排序变化不大, 来自糠椴的竞争提高, 排序靠前。对于白桦来说, 主要的竞争树种为蒙古栎和红松, 其次为色木槭和大青杨。T0 白桦竞争树种强度和竞争排序无明显变化。T1 方式下, 来自色木槭的竞争强度和排序提升。T2 方式下, 来自大青杨的竞争强度下降, 而来自色木槭的竞争强度升高。T3 竞争排序不变, 但来自色木槭和糠椴的竞争强度提高, 来自大青杨的竞争强度明显下降。

综上所述, T1, T0 方式下优势树种的竞争树种组成和强度变化不大且无明显趋势, 而 T2 和 T3 方式下, 各优势树种来自糠椴、色木槭的竞争强度增大, 来自大青杨的竞争强度减小。

3.4.4 目标树竞争对不同抚育间伐方式的响应 4 种方式下, 目标树的 *Hegyi_m* 均呈下降趋势, T2 和

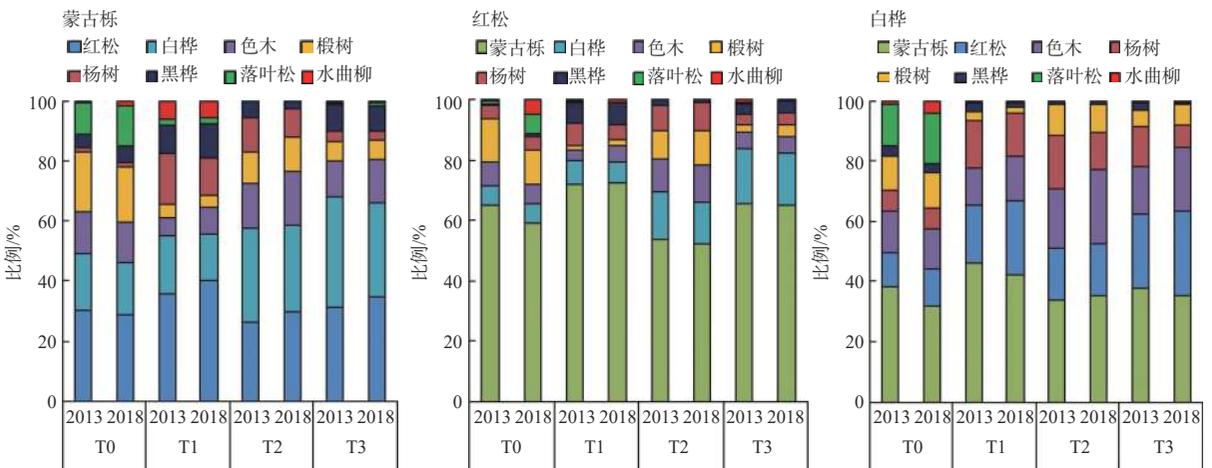


图4 优势树种的竞争树种组成

Fig. 4 Species composition of competitive tree of dominant species

T3 方式下目标树的 $Hegyi_m$ 和 $Hegyi_intra_m$ 的下降幅度 (14.0%, 15.3%) 明显高于 T0 和 T1 (4.4%, 7.8%), 4 种方式下目标树的 $Hegyi_inter_m$ 下降

程度接近 (表 5)。目标树的 $Hegyi$ 变化趋势与 $Hegyi_m$ 变化趋势和幅度一致。

表 5 不同抚育间伐方式下目标树和非目标树的平均竞争指数

Table 5 Average competition index of crop trees and other trees to different thinning treatment

处理 Treatment	树木类别 Type	2013			2018		
		$Hegyi_m$	$Hegyi_intra_m$	$Hegyi_inter_m$	$Hegyi_m$	$Hegyi_intra_m$	$Hegyi_inter_m$
T0	非目标树non crop trees	5.75	2.89	2.86	5.32	2.38	2.94
	目标树crop trees	1.81	0.85	0.95	1.73	0.80	0.93
T1	非目标树non crop trees	5.81	3.21	2.60	5.37	2.53	2.84
	目标树crop trees	2.19	1.05	1.14	2.02	0.96	1.06
T2	非目标树non crop trees	5.94	2.68	3.26	5.71	2.35	3.36
	目标树crop trees	2.21	1.12	1.09	1.90	0.83	1.07
T3	非目标树non crop trees	5.87	2.69	3.19	5.53	2.32	3.21
	目标树crop trees	2.36	1.38	0.98	2.00	1.07	0.93

目标树的 $Hegyi_m$ 均明显小于非目标树, T2 和 T3 方式下目标树的 $Hegyi_m$ 下降幅度分别为 14% 和 15%, 而非目标树仅降低了 3.8% 和 5.8%。T0 和 T1 中非目标树的种内竞争下降幅度要明显大于目标树的种内竞争下降幅度, 而 T2 和 T3 呈现出相反的趋势。目标树和非目标树的种间竞争变化不大 (表 5)。

4 讨论

蒙古栎次生林主要树种的竞争强度排序随竞争木数量增多的变化规律显示: 总竞争强度和平均竞争强度较大的树种的竞争排序不随竞争木数量的增多而改变, 而竞争强度较小的树种的排序变化较大, 这与汤孟平等的研究结果类似^[4]。蒙古栎次生林主要树种的种内竞争强度略小于种间竞争强度, 这与多数研究^[1, 4, 24-26]不一致。这可能与蒙古栎次生林主要树种的空间分布格局和混交程度有关系, 林分的平均混交度^[27]为 0.602 3, 表明对象木的竞争木为不同树种的概率较高, 种间竞争强度较大, 导致种间竞争高于种内竞争。

植物物种之间的竞争能力取决于该物种的生态幅度和生态习性以及在生态系统的生态位^[28]。不同种之间的生态位越接近, 表明对自然资源的争夺越激烈, 竞争也就越激烈。可以看出平均竞争强度排序靠前的几个树种, 水曲柳、色木槭、糠椴、红松多是耐阴树种, 或说是在幼龄阶段是耐阴树种, 因

此在较强的竞争环境下也能生存, 甚至可能自更新开始就处于较强的竞争环境下, 而竞争较小的树种多是喜光树种, 如杨桦、蒙古栎和落叶松, 这些树种更新所需的光照强度较大, 意味着生长空间就较大, 因此受到的竞争较小。

对比蒙古栎次生林不同林层的竞争得出与许多研究^[29-30]一致的结果: 高层林木平均竞争压力要比中下层林木的小。比较不同方式的抚育间伐, 发现传统的抚育采伐有效降低了下林层的总竞争, 而基于目标树经营的抚育间伐有效缓解了上林层的总竞争和平均竞争。这与两种采伐方式有关, 传统的抚育间伐是采弱留好, 采密留稀, 因此采伐对象多是处在中、下林层的林木, 而基于目标树经营的抚育间伐的目的是为目标树释放空间, 目标树多是林分的优势木, 处于上林层。

种内竞争对抚育间伐的响应要明显高于种间竞争, 针对目标树和非目标树的响应研究也呈现这种趋势。这表明抚育间伐时采伐木与周围林木是同一树种的几率较大, 而在不采取任何措施的情况下, 种内竞争对林木的生长影响更大。这是由于相同的树种具有同样的生态需求, 因此种内个体竞争剧烈^[1]。

目标树的平均竞争明显小于非目标树, 这是由于目标树多是优势木, 所处的林层多于上林层, 因此受到的竞争相对较小。T2 和 T3 对目标树竞争的减缓作用明显优于 T0 和 T1, 但 T0 和 T1 对非目标树的竞争降低作用要强于 T2 和 T3。这也印证了

目标树经营理念,即只针对目标树,对林分中其他不影响目标树生长的林木不做考虑。随着目标树选择株数的增多,采伐木数量提高,随之应该带来更大的竞争变化,但本研究中 T2, T3 两种目标树选择密度的林分内竞争关系没有明显差异,因此关于不同目标树株数的选择对林分内竞争关系的影响需要进一步研究。

5 结论

本研究利用 12 块 1 hm² 蒙古栎次生林两次调查数据开展了林木竞争关系对不同抚育间伐方式(传统经营(T1)、目标树经营密度 1(T2)和目标树经营密度 2(T3)和对照试验(T0))的响应关系分析。蒙古栎次生林样地的优势树种为:蒙古栎、红松和白桦,主要树种的竞争排序为:蒙古栎>红松>色木槭>糠椴>白桦>大青杨>落叶松>水曲柳>黑桦,基于目标树经营的抚育间伐对缓解上林层以及目标树的竞争有明显作用,可维持蒙古栎和红松在林分中的相对重要性;更注重培养有价值的树种,有利于培育优势树种和顶级树种,促进林分的正向演替。

参考文献:

[1] 张思玉,郑世群. 笔架山常绿阔叶林优势种群种内种间竞争的数量研究[J]. 林业科学, 2001, 37(Sp1): 185-188.

[2] 汤孟平. 森林空间结构分析[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

[3] David T. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. [J]. Bulletin of Mathematical Biology, 1989, 4(1): 28-29.

[4] 汤孟平,陈永刚,施拥军,等. 基于Voronoi图的群落优势树种种内种间竞争[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4707-4716.

[5] 黄小波,刘万德,苏建荣,等. 云南松天然林的种内和种间竞争[J]. 林业科学研究, 2016, 29(2): 209-215.

[6] Filipescu C N, Comeau P G. Competitive interactions between aspen and white spruce vary with stand age in boreal mixedwoods[J]. Forest Ecology & Management, 2007, 247(1-3): 175-184.

[7] 李志洪,胡淑仪,李伟,等. 粤东北马尾松-木荷混交林种内种间竞争强度分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(8): 91-5.

[8] 刘泰瑞,董威,覃志杰,等. 不同间伐强度对华北落叶松人工林竞争关系的影响[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(2): 153-158.

[9] 罗应华,孙冬婧,林建勇,等. 马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6154-6162.

[10] 王懿祥,张守攻,陆元昌,等. 干扰树间伐对马尾松人工林目标树生长的初期效应[J]. 林业科学, 2014, 50(10): 67-73.

[11] 陈科屹,张会儒,雷相东,等. 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[J]. 林业科学研究, 2017, 30(5): 718-726.

[12] 胡雪凡,张会儒,周超凡,等. 不同抚育间伐方式对蒙古栎次生林空间结构的影响[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(5): 137-147.

[13] 张晓红,张会儒. 蒙古栎次生林垂直结构特征对目标树经营的影响[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(5): 56-65.

[14] Ohsawa M. Differentiation of vegetation zones and species strategies in the subalpine region of Mt. Fuji[J]. Vegetatio, 1984, 57(1): 15-52.

[15] Hegyi F. A simulation model for managing jack-pine standssimulation[J]. Royal Coll For, Res Notes, 1974, 30: 74-90.

[16] 夜来比·买木提名. 八达岭地区油松人工林单木竞争模型研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.

[17] 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.

[18] Staupendahl K, Zucchini W. Estimating the spatial distribution in forest stands by counting small angles between nearest neighbours[J]. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 2006, 177(8): 160-168.

[19] Assuncao R. Testing spatial randomness by means of angles[J]. Biometrics, 1994, 50(2): 531-537.

[20] Davies O, Pommerening A. The contribution of structural indices to the modelling of Sitka spruce (*Picea sitchensis*) and birch (*Betula spp.*) crowns[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 256(1-2): 68-77.

[21] Clark P J, Evans F C. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations[J]. Ecology, 1954, 35(4): 445-453.

[22] 唐守正. 多元统计分析方法[M]. 北京: 中国林业出版社, 1986.

[23] 庄崇洋,黄清麟,马志波,等. 林层划分方法综述[J]. 世界林业研究, 2014, 27(6): 34-40.

[24] 金刚新. 四川大头茶在其群落中的种内与种间竞争的初步研究[J]. 植物研究, 1997, 17(1): 110-118.

[25] 辛营营,韦新良. 青山湖针阔混交林优势树种竞争的数量研究[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(4): 601-606.

[26] 任孜孜,杨华. 长白山云冷杉林优势树种的竞争[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3089-3097.

[27] 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.

[28] 廖宝文,李玫,郑松发,等. 外来种无瓣海桑种内、种间竞争关系研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(4): 418-422.

[29] 马志波,黄清麟,庄崇洋,等. 基于分层的典型中亚热带天然阔叶林林木竞争关系研究[J]. 林业科学研究, 2018, 31(2): 1-10.

[30] 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.

Response of Tree Competition in Natural Secondary *Quercus mongolica* Forest to Thinning Treatment

HU Xue-fan^{1,2}, DUAN Guang-shuang³, ZHANG Hui-ru^{1,2,4}, LU Jun^{1,2}, ZHANG Xiao-hong^{1,2}

(1. Research Institute of Forest Resources Information Techniques, Chinese Academy of Forestry; Beijing 100091, China; 2. Key Laboratory of Forest Management and Growth Modeling, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China; 3. School of Mathematics and Statistics, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, Henan, China; 4. National Engineering Research Center for the Forest Management, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: [Objective] The effects of thinning treatment on tree competition of *Quercus mongolica* secondary forest (oak forest) were evaluated, so as to provide references for further understanding the ecological adaptation mechanism of this kind of community and making reasonable management decisions. [Method] 12 permanent plots were established in the oak forest in Wangqing of Jilin Province in 2013. 4 management treatments were carried out, namely traditional management treatment (T1), crop tree management with density of 70 crop trees per hectare (T2), crop tree management with density of 100 crop trees per hectare (T3) and the control plot(T0). The plots were re-measured in 2018. The number of competitive trees used in *Hegy* index was determined by the method of ordered sample clustering. The tree competition of oak forest and the response of competition to thinning treatment among the forest layers, dominant species and crop trees were analyzed. [Result] (1) The dominant species of the oak forest were *Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb, *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. and *Betula platyphylla* Suk. (2) The rank of main tree species competition in the sample plot was *Q. mongolica* > *Pinus koraiensis* > *Acer pictum* > *Tilia mandshurica* > *B. platyphylla* > *Populus ussuriensis* > *Larix olgensis* > *Fraxinus mandshurica* > *B. dahurica*. The average interspecies competition of the main tree species was slightly stronger than the average intra-specific competition. (3) The competition of upper forest layer decreased significantly under T2 and T3. The competition intensity of *B. platyphylla* and *Q. mongolica* decreased in every treatment, especially under T3 (by 48 percent and 27 percent, respectively); the competition intensity of *Pinus koraiensis* increased in T0 only. The interspecific competition intensity of dominant tree species from *T. mandshurica* and *A. pictum* in T2 and T3 increased, while that of *Populus ussuriensis* decreased. The reduction of crop trees competition under T2 and T3 was significantly higher than T0, and T1. [Conclusion] By analyzing the competition among the tree species of the oak forest, it is concluded that the thinning based on the crop tree management can effectively reduce the competition of the upper layer and the dominant species in the natural secondary *Q. mongolica* forest. It is beneficial to cultivate the crop species and guide the positive succession of the forest. The results of this study proves the feasibility and rationality of the crop tree management.

Keywords: crop tree management; natural secondary *Quercus mongolica* forest; thinning; ordered sample clustering; competition

(责任编辑: 彭南轩)