

内蒙古呼伦贝尔沙地不同樟子松林竞争强度的比较^{*}

喻泓 杨晓晖^{* *} 慈龙骏

(中国林业科学研究院林业研究所国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘 要 利用全林木定位和单木竞争指数模型, 以受到林火干扰的樟子松林为例, 分析了呼伦贝尔沙地樟子松林的竞争强度. 结果表明: 同一样地中, 死亡林木的竞争强度均比较接近; 活立木、全部林木中, 伴生树种的竞争强度是樟子松的 2~3 倍; 樟子松的竞争压力主要来自于种内, 伴生树种的竞争则主要来自于种间. 林火干扰与无林火(对照)样地间的比较表明, 林火干扰样地樟子松活立木的竞争强度均显著小于对照样地. 活立木竞争强度与其胸径间均服从幂函数关系($CI = AD^{-B}$). 地表火干扰可显著降低林木个体间的竞争强度, 有利于存活林木个体的生长发育和大径阶林木的培育.

关键词 单木竞争指数 种间竞争 种内竞争 樟子松 地表火

文章编号 1001-9332(2009)02-0250-06 **中图分类号** Q145; S718 **文献标识码** A

Competition intensity of Mongolian pine forests in Hulun Buir sand region of Inner Mongolia, China. YU Hong, YANG Xiao-hui, CI Long-jun (State Forestry Administration Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China). -Chin. J. Appl. Ecol. 2009 20(2): 250-255.

Abstract: By using totally locating method and single tree competition index model, this paper studied the competition intensity of Mongolian pine forests in Hulun Buir sand region of Inner Mongolia, with the fire-disturbed Mongolian pine forest as a case. The results showed that within the same sampling plots, dead trees had the similar competition intensity, while the accompanying species in living and whole stems had two or three times higher competition intensity than Mongolian pine. The competition stress of Mongolian pine mainly came from intra-specific, and that of accompanying species mainly came from inter-specific. The competition intensity of living Mongolian pine was significantly lower in fire-disturbed than in undisturbed plot, and the competition intensity (CI) of living stems had a power functional relationship with their diameter at breast height (D), i. e., $CI = AD^{-B}$. It was concluded that surface fire could significantly decrease the competition intensity among the stems, which would benefit the growth and development of living stems and the culture of the stems with larger diameter of breast height.

Key words: single tree competition index; inter-specific competition; intra-specific competition; Mongolian pine; surface fire.

竞争是生物个体间的相互作用, 同时也是一种重要的生态过程^[1]. 森林生态系统中普遍存在着竞争^[2]. 林木竞争的结果是使某些个体在群落中占据着优势地位, 既增加了其对有限资源和空间的有效利用, 也加强了其对邻近个体的影响程度^[3-5], 并推动群落结构、功能和动态的演替变化^[6-7]. 因此, 探讨森林中林木的竞争关系对理解和把握森林的结构和动态具有重要意义^[8].

樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)是我国

北方针叶林的建群树种, 以耐寒、耐旱、耐贫瘠及防风固沙等特性而著称^[9], 在“三北”地区农田防护林建设和荒漠化防治工作中得到广泛应用^[10]. 呼伦贝尔沙地的红花尔基是我国天然樟子松最集中的分布区. 林火是天然樟子松林重要的干扰因子之一^[9], 也是其群落结构和特征动态变化及演替的重要驱动力. 现有天然樟子松林的研究主要集中在种群结构^[11]、群落与环境的关系^[12]及林火干扰下樟子松的生长发育^[13]和林分更新的空间格局^[14]等方面, 而关于天然樟子林竞争关系的研究较少^[15], 更缺乏林火干扰下樟子松林竞争关系变化方面的研究. 为

^{*} 国家“十一五”科技支撑计划重点资助项目(2006BAD26B05).

^{**} 通讯作者. E-mail: yangxh@forestry.ac.cn.

2008-06-16 收稿, 2008-11-30 接受.

此,本研究利用简便的 Hegyi 单木竞争指数^[8]分析基于距离的樟子松林的竞争关系,以及地表火干扰对林分竞争强度的影响,旨在为天然樟子松林的生产经营和林火管理提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地概况

研究地设在位于呼伦贝尔沙地南端、大兴安岭西坡中部向内蒙古高平原过渡的内蒙古自治区红花尔基林业局作业区,地理位置 47°36—48°35' N, 118°58'—120°32' E。该地区属半湿润、半干旱区,为中温带大陆性季风气候,年平均气温 -1.5℃,≥10℃的年积温为 2000℃左右,年均降水量为 344 mm,降水主要集中在 7—8 月,年均蒸发量为 1174 mm,干燥度为 1.33;年平均风速为 3.8 m·s⁻¹,平均无霜期约 90 d,积雪日数约 155 d^[9]。主要地貌类型为垄状、波状起伏的沙地,海拔在 700~1100 m 之间,是以厚度不等的沙层和沙砾层为主的第四纪冰水沉积物^[9-10];土壤类型主要为灰色森林土和草甸土等。森林以樟子松纯林为主,局部地段分布有白桦(*Betula platyphylla*)和山杨(*Populus davidiana*)林^[9]。

樟子松林为 20 世纪 50 年代残存的团块状片林经封育而形成的同龄纯林,林相和外貌整齐一致,结构简单,林冠层树种主要是樟子松,其伴生树种很少且在林分中所占的比重较小。

1.2 调查方法

2007 年 6—8 月,在红花尔基天然樟子松中龄林^[9]中,选取 2 块边长 100 m、面积 1 hm² 的正方形典型调查样地。其中一块样地所在的林分于 2006 年 5 月 16—18 日^[16]发生了一场特大森林火灾(2006 年林火干扰样地,简称 B06);另一块对照样地所在的林分 1970 年至今没有发生过林火(无林火干扰样地,简称 CK)。以样地的一个顶点为原点,分别调查记录样地中不同树种的倒木、枯立木、烧死木(指 B06 样地中被林火烧死的树木,下同)和活立木(树高>1.3 m)的位置坐标(m),同时测量倒木、枯立木、烧死木和活立木的胸径(DBH,指立木上距地面 1.3 m 处的树干直径或倒木上距根茎 1.3 m 处的树干直径,cm)。

1.3 研究方法

在众多研究林木竞争指数的模型中,Hegyi 单木竞争指数模型既简便易行又有较好的预测效果,且所需数据在野外调查中比较容易准确获

得^[4-5,8,17-18]。因此,在结构单一、成分简单的樟子松林中,利用改进的单木竞争模型计算竞争指数^[5,8,18-19],其公式为:

$$CI_i = \sum_{j=1}^n D_j^2 D_i^{-1} L_{ij}^{-1} \tag{1}$$

$$CI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CI_i \tag{2}$$

式中:CI 为竞争指数;CI_i 为第 i 株对象木的竞争指数;n 为第 i 株对象木周围的竞争木株数;D_j 为第 j 株竞争木胸径;D_i 为第 i 株对象木胸径;L_{ij} 为第 i 株对象木与第 j 株竞争木间的距离;N 为对象木株数。

利用樟子松对象木竞争强度与其胸径进行回归分析,其幂函数回归拟合关系式为:

$$CI = AD^{-B} \tag{3}$$

其中:CI 为竞争强度;D 为对象木胸径;A、B 为参数。

通过调查樟子松林 1 hm² 范围内全部林木,分析计算林分尺度上 0.64 hm² 连续范围内林木的竞争强度,可以有效地减少因对象木抽样所带来的主观偏差,使结果更接近林分中林木的实际竞争关系。在林木竞争强度的计算中,确定林木竞争的影响范围非常重要^[19],且有多种确定林木竞争影响范围的方法^[5,7,18]。调查林分的主林层全部由樟子松组成,林窗半径多在 10 m 左右,树冠大小在 5~8 m 之间。另外,随着样圆半径的增加,樟子松林平均竞争强度不断增加,但其变化率在样圆半径为 10 m 时趋于稳定^[15]。因此,根据林分的树冠大小、林窗等生长状况及竞争强度的变化率等因素,选定对象木的样圆半径为 10 m。另外,当对象木样圆的部分面积处在样地之外时,则位于样地外的那部分竞争木不包括在竞争指数的计算范围中,从而造成一定程度的偏差。为了避免这种边缘效应,将样地内距边界 10 m 的区域作为选定对象木的缓冲带,即仅在方形样地中心 80 m×80 m 的区域中选取对象木,而竞争木则在整个样地范围内选取。同时,在竞争强度的计算过程中,将样地中的倒木、枯立木和烧死木(统一作为死树组分)也包括在内,以分析比较林分稀疏和林火干扰后竞争强度的变化及林分不同组分所受到的竞争压力。调查林分基本上为樟子松纯林,有少量的伴生树种如白桦、山荆子(*Malus baccata*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)和稠李(*Padus avium*),研究中将其统一作为伴生树种来分析。

1.4 数据处理

利用非参数 Kruskal-Wallis 法进行不同林分林木组分的胸径及其竞争强度间的方差分析和假设检

验 ,并采用 Duncan 法进行多重比较 ;林木径阶分布通过 Kolmogorov-Smirnov 法进行正态性检验 ;显著性检验水平的临界值选定为 0. 01 ;活立木竞争强度与其胸径间回归关系通过幂函数进行拟合 . 林木竞争强度通过其个体相对位置坐标及大小在 R 统计软件^[20]上计算 ,所有的统计分析均使用 SAS 9. 0 软件完成^[21].

2 结果与分析

2. 1 调查样地对象木及竞争木的基本组成

2006 年林火干扰样地(B06)和对照样地(CK)的林冠层树木均为樟子松 ,其伴生树种中胸径最大的分别仅为 10. 6 和 7. 8 cm ,而伴生树种的数量和胸高断面面积分别占样地林木总数和总胸高断面面积的 39. 8%、1. 9% 和 4. 9%、0. 2% ,说明其在林分中所占的比重较小 . 在 B06 和 CK 样地中 ,死亡林木多为小径阶林木 ,其数量和胸高断面面积分别占样地总数的 57. 5%、13. 1% 和 1. 8%、0. 7% .

由表 1 可以看出 ,B06 和 CK 分别有 635 和 653 株对象木 ,其中 ,B06 样地 > 20 cm 的径阶分布趋近于正态分布(Kolmogorov-Smirnov 正态性检验 , $P = 0. 0238$) ,CK 的径阶分布为较典型的倒“ J ”形 ;B06 和 CK 的竞争木分别为 861 和 931 株 ,其中 ,B06 样地 > 20 cm 的径阶分布为正态分布($P = 0. 0671$) ,CK 的径阶分布也表现为倒“ J ”形(图 1). 在 B06 和 CK 的对象木和竞争木中 ,樟子松和伴生树种的活立木、全部林木的平均胸径之间均有显著差异 ,而其他林木组分的平均胸径间均没有显著差异 .

2. 2 樟子松林的竞争强度

表 1 调查样地林木不同组分的胸径

Tab. 1 ANOVA of means of the components in stands surveyed (mean ± SE)

样地 Stand	组分 Compo- nents	樟子松 Mongolian pine						全部组分 All components	伴生树种 Accompany species				全部林木 All stems	
		倒木 Fallen logs		枯立木 Standing dead trees		活立木 Survivals			枯立木 Standing dead trees		活立木 Survivals			全部组分 All compo nents
		株数 No.	胸径 DBH (cm)	株数 No.	胸径 DBH (cm)	株数 No.	胸径 DBH (cm)		株数 No.	胸径 DBH (cm)	株数 No.	胸径 DBH (cm)		
B06	A	—	—	229	2.1 ± 0.11a	330	23.4 ± 0.80a	14.7 ± 0.65a	305	2.6 ± 0.10a	65	5.2 ± 0.22a	3.1 ± 0.10a	10.1 ± 0.43a
	T	—	—	134	2.1 ± 0.14a	196	25.1 ± 0.97a	15.7 ± 0.85a	246	2.7 ± 0.11a	59	5.2 ± 0.23a	3.2 ± 0.11a	9.7 ± 0.51a
	N	—	—	208	2.1 ± 0.12a	286	23.7 ± 0.86a	14.6 ± 0.69a	302	2.7 ± 0.10a	65	5.2 ± 0.22a	3.1 ± 0.10a	9.7 ± 0.44a
CK	A	16	5.2 ± 0.59a	89	2.8 ± 0.34a	852	15.6 ± 0.43b	14.2 ± 0.40a	26	3.2 ± 0.32a	19	3.1 ± 0.49b	3.2 ± 0.27a	13.7 ± 0.39b
	T	12	4.8 ± 0.44a	61	3.1 ± 0.48a	564	15.4 ± 0.53b	14.0 ± 0.49a	6	3.2 ± 0.64a	10	3.0 ± 0.74b	3.0 ± 0.51a	13.8 ± 0.48b
	N	16	5.2 ± 0.59a	82	2.8 ± 0.37a	788	15.8 ± 0.45b	14.4 ± 0.42a	26	3.2 ± 0.32a	19	3.1 ± 0.49b	3.2 ± 0.27a	13.9 ± 0.41b

* 同列数字后不同字母表示在 0. 01 水平上差异显著 In each column , values followed by different letters were significantly different at the 0. 01 level using Duncan's test. A : 所有林木 All trees ; T : 对象木 Target trees ; N : 竞争木 Neighbor trees. 下同 The same below.

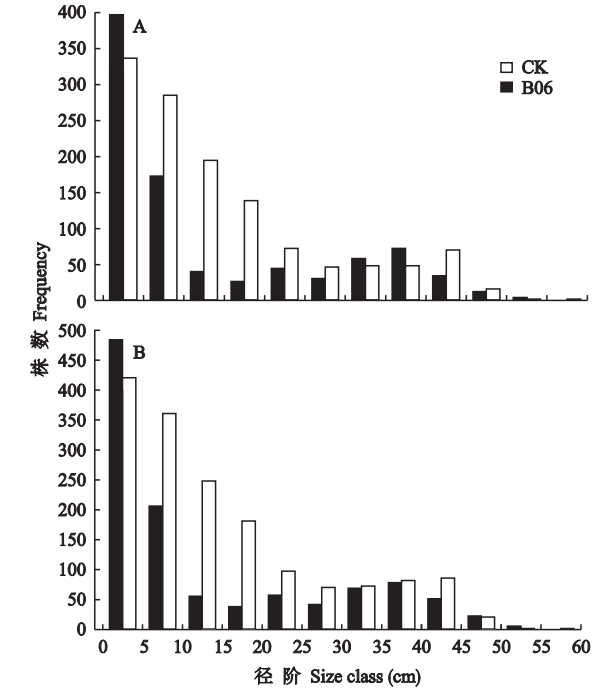


图 1 对象木(A)和竞争木(B)的径阶分布
Fig. 1 Size class distribution of target trees (A) and neighboring trees (B).

由表 2 可以看出 ,同一林分中 ,除 CK 伴生树种的种间和种内 + 种间组分的竞争强度外 ,其他各林木组分中活立木的竞争强度最小 ,而死树组分的竞争强度最大 . 伴生树种的死树、活立木、全部林木的竞争压力主要来自于种间 ,种内竞争均很小 ,樟子松则相反 . 在死树组分中 ,伴生树种和樟子松的竞争强度相差不大 ,而在活立木组分、全部林木组分中 ,伴生树种的竞争强度均是樟子松的 2 ~ 3 倍 .

不同林分竞争强度的比较表明 ,死亡伴生树种

表 2 不同类型樟子松林各组分竞争强度比较

Tab.2 Comparison of competition intensities of the components in stands surveyed (mean ± SE)

林木组分 Stand components	伴生树种 Accompany species						樟子松 Mongolian pine				总计 Total
	样本数 No.	种内 Intraspecific	种间 Interspecific	种内 + 种间 Intra- and interspecific			样本数 No.	种内 Intraspecific	种间 Interspecific	种内 + 种间 Intra- and interspecific	
死树 Dead trees	B06	246	1.31 ±0.08a	10.80 ±0.83a	12.11 ±0.84a		135	10.23 ±0.81a	0.20 ±0.03a	10.43 ±0.81a	11.52 ±0.62a
	CK	6	0.07 ±0.03b	8.92 ±2.82a	9.0 ±2.81a		73	11.37 ±1.10a	0.01 ±0.004b	11.38 ±1.10a	11.20 ±1.04a
活立木 Survivals	B06	59	1.29 ±0.14a	3.06 ±0.16a	4.35 ±0.24a		196	0.97 ±0.13a	0.05 ±0.01a	1.01 ±0.13a	1.78 ±0.15a
	CK	10	0.02 ±0.01b	11.82 ±2.93b	11.84 ±2.94a		564	2.92 ±0.16b	0.01 ±0.002b	2.93 ±0.16b	3.08 ±0.17b
全部林木 All stems	B06	305	1.31 ±0.07a	9.30 ±0.67a	10.61 ±0.71a		331	4.75 ±0.42a	0.11 ±0.01a	4.86 ±0.42a	7.62 ±0.42a
	CK	16	0.04 ±0.01b	10.73 ±2.09a	10.78 ±2.08a		637	3.89 ±0.22b	0.01 ±0.001b	3.90 ±0.22b	4.07 ±0.22b

表 3 不同林分存活对象木的竞争强度与其胸径的回归分析

Tab.3 Regression between competitive intensities and DBH of survival targets in plots B06 and CK

林分组分 Stand components		B06						CK					
		A	P	B	P	N	R ²	A	P	B	P	N	R ²
伴生树种 Accompany species	种内 Intraspecific	2.81	0.0160	0.50	0.0677	59	0.0499	0.03	0.0176	0.54	0.3012	10	0.1666
	种间 Interspecific	11.28	<0.0001	0.85	<0.0001	59	0.7613	17.70	<0.0001	0.87	<0.0001	10	0.9786
	种内 + 种间 Intra- and interspecific	14.00	<0.0001	0.76	<0.0001	59	0.5264	17.73	<0.0001	0.87	<0.0001	10	0.9786
樟子松 Mongolian pine	种内 Intraspecific	12.14	<0.0001	1.12	<0.0001	196	0.9551	20.85	<0.0001	1.03	<0.0001	564	0.9285
	种间 Interspecific	0.17	<0.0001	0.44	<0.0001	196	0.0921	0.06	<0.0001	1.14	<0.0001	564	0.0556
	种内 + 种间 Intra- and interspecific	12.20	<0.0001	1.08	<0.0001	196	0.9532	20.90	<0.0001	1.03	<0.0001	564	0.9292
全部林木 All stems		13.18	<0.0001	0.90	<0.0001	255	0.8280	19.61	<0.0001	0.98	<0.0001	574	0.9318

* 种内 + 种间表示同时考虑了其种内和种间竞争 , The intra- and interspecific competitions were both considered in the components of accompany species and Mongolian pine. A、B 为参数 , N 为样本量 , P 为参数的显著性检验值 A and B were parameters , N sample numbers , and P significant values of the corresponding parameter.

种内、死亡樟子松种间、活立木组分(除伴生树种种内 + 种间外)、全部林木组分(除伴生树种种内及其种内 + 种间外)之间均有显著的差异 ,其他林木组分间均没有显著差异. 有显著差异的死树、全部林木组分中 ,B06 的竞争强度均显著地大于 CK 相应组分的竞争强度 ,而活立木中 ,CK 林分的伴生树种种间和种内 + 种间、樟子松种内和种内 + 种间、全部活立木的竞争强度均显著大于 B06 林分.

2.3 竞争强度与对象木胸径的回归关系

林木竞争受植物种、生长发育阶段等多种因素的影响 ,其中以胸径表征的个体大小对其竞争能力影响很大. 活立木竞争强度与其胸径间的回归分析 (表 3、图 2)表明 ,樟子松林不同组分竞争强度与对象木胸径间近似地服从 $CI = AD^{-\beta}$ 形式的幂函数关系. 在竞争强度的回归关系中 ,由于样本量较小或不同树种个体大小间较大差异(如樟子松与山荆子等林下层小乔木)等原因 ,某些林分组分的回归模型并不显著 ;但是从林分整体来看 ,竞争强度与对象木胸径较好地服从幂函数关系. 因此 ,可以利用竞争强

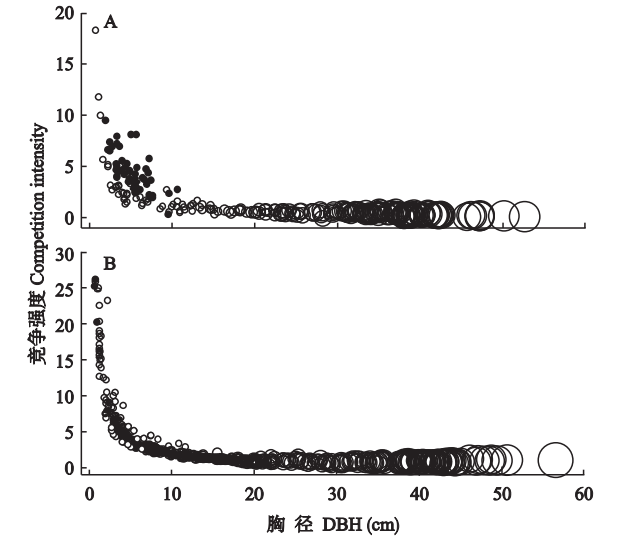


图 2 B06(A)和 CK(B)样地活立木竞争强度与其胸径的散点图
Fig.2 Scatter of competition intensities of survivals and its DBHs in plots B06 (A) and CK (B) , respectively.
黑色圆点和圆圈分别表示伴生树种和樟子松 ,图中符号大小与林木胸径成比例 ,最小符号为胸径 ≤ 10 cm 的林木 Black dots and circles referred to accompany species and Mongolian pine , respectively. Symbols were proportional to DBHs of stems and the smallest symbols were stems with DBH not more than 10 cm.

度的回归模型对樟子松林竞争强度进行预测。另外,从不同林分回归模型的参数来看,无林火干扰樟子松林 CK 的参数大于地表火干扰樟子松林 B06 的参数(不包括回归模型不显著的林分组分),说明前者个体间的竞争强度大于后者,同时也表明林火干扰明显降低了林木间的竞争强度。

3 结论与讨论

3.1 不同林分及其组分的竞争格局

Hegyi 单木竞争指数是测度植物个体间竞争强度较常用的指标^[3,8,19]。它以个体大小及空间位置关系来度量林木周围的局部林分结构^[7],间接地反映出植物个体对可利用资源和环境的现实分配。然而,一般研究中常采用抽样的方法来确定对象木^[4-5,18-19],只能反映出特定范围内对象木的竞争关系,是对森林群落竞争关系的一种近似。而本研究通过 1 hm² 样地全林木定位方法,能够探讨林分尺度上连续范围内全部林木个体间的竞争关系,直接测定林分尺度上的林分结构特征。另外,通过对不同林分及同一林分不同组分竞争关系的探讨,更加准确地描述和揭示了樟子松林竞争格局和发展态势,并推断和预测其演化发展的趋势。

本研究结果表明,在天然樟子松林中,伴生树种的竞争压力主要来自种间(即樟子松),而樟子松的竞争压力主要来自种内^[15]。这与温带针阔混交林中伴生树种东北红豆杉(*Taxus cuspidate*)的研究结果不同^[22],而与林相整齐的太白红杉(*Larix chinensis*)林的研究结果相一致^[18]。这可能是由于樟子松近乎纯林,伴生树种均为下层林木,并受到来自主林层樟子松的强大竞争压力,而这种现象有利于对樟子松用材林的培育。另外,樟子松林木竞争强度与其胸径间呈显著的幂函数回归关系,生产实践中可以通过其回归方程来预测竞争强度,为林分的培育和合理经营提供依据。

森林群落竞争关系的研究能在一定程度上反映林木死亡前后林分竞争关系的动态变化,对预测林分竞争状态及提出合理的生产经营管理措施具有重要意义。在樟子松林竞争关系的动态变化过程中,不同林分死亡的伴生树种和樟子松的种内+种间、全部死树的竞争强度之间均没有显著差异,表现出相似的林分稀疏特征,说明死树均受到了相似的竞争压力,林火干扰也表现为一种林分稀疏的驱动力。另外,与活立木和全部林木组分相比,死树往往受到较大的竞争压力而被从林分中排挤掉,并以倒木、枯立

木或烧死木(B06)的形式保留在林地中,表现出明显的林分稀疏现象。不同林分的活立木、全部林木组分中,伴生树种的竞争强度最大,樟子松受到的竞争压力最小;从竞争角度来看,这或许是樟子松常排除其他树种形成纯林的原因。然而,活立木各组分的竞争强度显著降低,说明林木个体间的竞争状况得到明显改善,存活林木个体将受惠于竞争,从而有利于其生长发育。不同林分中,被竞争排除的多为小径阶林木,其占林分胸高断面积的比例很小(B06 和 CK 中分别为 1.8% 和 0.7%),因此林分的蓄积量损失也很小,这将有利用于用材林的培育。

3.2 地表火驱动的樟子松林的竞争

在全部林木组分上,除伴生树种种间及其种内+种间外,B06 和 CK 不同组分的竞争强度间均存在显著差异,这或许是由于林分结构存在着显著差异等因素造成的。然而,除伴生树种种内和樟子松种间外,B06 和 CK 死树不同组分的竞争强度间却没有显著差异,死树的径阶间没有显著差异,也说明它们具有相似的个体和结构特征,以及利用资源的方式和能力等功能特征,从而作为被稀疏的林木组分,在不同林分中均面临着相似程度的竞争压力。另外,不同林分死树组分竞争强度的相似性也充分说明了地表火是林木竞争的驱动力,具有林分稀疏的功能和效应。

在排除了死树后,B06 和 CK 活立木的竞争强度总体上均小于林木死亡前全部林木的竞争强度;B06 不同组分的竞争强度均显著小于 CK 林分(伴生树种种内及种内+种间、樟子松种间竞争强度除外)表明与林分稀疏相比,地表火干扰在更大程度上降低了林木间的竞争,从而更有利于存活林木对资源环境的有效利用及其个体的生长发育。这与营林生产目标是一致的。在一些林木组分中,伴生树种的竞争强度与总体趋势不一致,或许是由于其为林下层树木,与主林层樟子松在形态上存在巨大差异,因而在竞争中形成不对等的地位。

樟子松是国家重点保护植物,“三北”地区也营造了大面积的人工林,因此,樟子松天然林和人工林的资源动态及群落演替得到广为关注。林分尺度上连续范围内林木竞争强度的研究,更加准确地揭示樟子松林的竞争关系。在有林火干扰的樟子松林中,地表火是林木个体竞争的主要驱动力,具有比自然稀疏还要强烈的林分稀疏作用,在某种程度上具有人工抚育间伐的效果。因此,在樟子松林的经营管理中,可以从林木的竞争关系出发,统筹规划,合理安

排,以促进个体的生长发育和大径阶林木的培育,实现用材林高效丰产的目的。

参考文献

- [1] Begon M , Harper JL , Townsend CR. Ecology. 4th Ed. Oxford : Blackwell Publishing , 1996
- [2] Goldberg DE , Barton AM. Patterns and consequences of interspecific competition in natural communities : A review of field experiments with plants. *The American Naturalist* , 1992 , **139** : 771–801
- [3] Weiner J. Asymmetric competition in plant populations. *Trends in Ecology & Evolution* , 1990 , **5** : 360–364
- [4] Zhang M (张 谧) , Han S (韩 烁) , Li J-T (李钧涛) , et al. Study on competition relationship on *Pinus tabulaeformis* , *Betula platyphylla* and *Populus davidiana* natural forest in Wuling Mountain Nature Reserve. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)* (北京师范大学学报·自然科学版) , 2007 , **43** (2) : 184–186 (in Chinese)
- [5] Zhang C (张 池) , Huang Z-L (黄忠良) , Li J (李炯) , et al. Quantitative relationships of intra- and interspecific competition in *Cryptocarya concinna*. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)* , 2006 , **17** (1) : 22–26 (in Chinese)
- [6] Huston M , Smith T. Plant succession : Life history and competition. *The American Naturalist* , 1987 , **130** : 168–198
- [7] Wu G-S (吴珏胜) , Wang Z-Q (王政权) . Individual tree growth-competition model in mixed plantation of manchurian ash and dahurian larch. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)* , 2000 , **11** (5) : 646–650 (in Chinese)
- [8] Canham CD , Papaik MJ , Uriarte M , et al. Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England forests. *Ecological Applications* , 2006 , **16** : 540–554
- [9] Zhao X-L (赵兴梁) , Li W-Y (李万英) . Mongolian Pine. Beijing : China Agricultural Press , 1963 (in Chinese)
- [10] Ci L-J (慈龙骏) . Desertification and Its Control in China. Beijing : Higher Education Press , 2005 (in Chinese)
- [11] Zheng Y-R (郑元润) . Study on dominance dynamics and self-thinning of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* populations on sand land at Honghuaerji. *Journal of Wuhan Botanical Research (武汉植物学研究)* , 1999 , **17** (4) : 339–344 (in Chinese)
- [12] Liu K (刘 康) , Wang X-K (王效科) , Yang F (杨帆) , et al. *Pinus sylvestris* community on Honghuaerji sandy land and its relationship with environmental factors. *Chinese Journal of Ecology (生态学杂志)* , 2005 , **24** (8) : 858–862 (in Chinese)
- [13] Luo J-C (罗菊春) . Influence of forest fire disaster on forest ecosystem in Great Xing 'anling. *Journal of Beijing Forestry University (北京林业大学学报)* , 2002 , **24** (5/6) : 101–107 (in Chinese)
- [14] Yang X-H (杨晓晖) , Yu H (喻 泓) , Yu C-T (于春堂) , et al. Spatial pattern of post-fire regeneration of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest in Hulun Buir Sandland , northeastern China. *Journal of Beijing Forestry University (北京林业大学学报)* , 2008 , **30** (2) : 44–49 (in Chinese)
- [15] Mao L (毛 磊) , Yang D-Q (杨丹青) , Wang D-M (王冬梅) , et al. Analyses of intraspecific and interspecific competition of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural forest in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia. *Journal of Plant Resources and Environment (植物资源与环境学报)* , 2008 , **17** (2) : 9–14 (in Chinese)
- [16] Zhao H-Y (赵慧颖) , Meng J (孟 军) , Song W-S (宋卫士) , et al. Study on the weather condition of “ 5 · 16 ” disastrous event of forest fire in Mongolian pine forest , Honghuaerji , Inner Mongolia. *Forest Fire Prevention (森林防火)* , 2006 (4) : 13–15 (in Chinese)
- [17] Weigelt A , Jolliffe P. Indices of plant competition. *Journal of Ecology* , 2003 , **91** : 707–720
- [18] Duan R-Y (段仁燕) , Wang X-A (王孝安) . Intraspecific and interspecific competition in *Larix chinensis*. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)* , 2005 , **29** (2) : 242–250 (in Chinese)
- [19] Zhang Y-X (张跃西) . Application and improvement of the neighborhood interference model. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica (植物生态学与地植物学学报)* , 1993 , **17** (4) : 352–357 (in Chinese)
- [20] Baddeley A , Turner R. Spatstat : An R package for analyzing spatial point patterns. *Journal of Statistical Software* , 2005 , **12** : 1–42
- [21] SAS Institute. SAS version 9.0. Cary , North Carolina : SAS Institute , Inc. , 2002
- [22] Liu T (刘 彤) , Li Y-L (李云灵) , Zhou Z-Q (周志强) , et al. Intraspecific and interspecific competition of Japanese yew (*Taxus cuspidata*). *Acta Ecologica Sinica (生态学报)* , 2007 , **27** (3) : 924–929 (in Chinese)

作者简介 喻 泓,男,1969年生,博士研究生。主要从事森林生态学和自然保护区研究,发表论文5篇。E-mail : jgsyuhong@sina.com

责任编辑 李凤琴