

红花尔基自然保护区 天然樟子松林种内种间竞争分析

毛磊¹, 杨丹青¹, 王冬梅¹, 杨晓晖^{2,①}

- (1. 北京林业大学水土保持学院 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 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: 运用 Hegyi 单木竞争指数分析了内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.) 林内所有胸径大于 2 cm 的樟子松、山杨 (*Populus davidiana* Dode.)、白桦 (*Betula platyphylla* Suk.) 和山荆子 (*Malus baccata* L.) 的种内和种间竞争强度。结果表明, 样地中主要的竞争木和对象木均为樟子松和白桦; 樟子松的种内竞争强度(0.534)远大于种间竞争强度。随径级的增大, 樟子松的种内竞争强度逐渐减小, 且与胸径存在幂函数关系 $CI = A \cdot D^{-B}$ 。胸径达到 30 cm 后, 樟子松种内竞争强度变化不明显。作为竞争木, 樟子松对其他树种产生了较大的竞争压力。

关键词: 樟子松; 种内和种间竞争; 竞争指数

中图分类号: S791.253; S718.54 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0978(2008)02-0009-06

Analyses of intraspecific and interspecific competition of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural forest in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia MAO Lei¹, YANG Dan-qing¹, WANG Dong-mei¹, YANG Xiao-hui^{2,①} (1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating, Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation of State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2008, 17(2): 9-14

Abstract: The intraspecific and interspecific competition intensities of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv., *Populus davidiana* Dode., *Betula platyphylla* Suk. and *Malus baccata* L. (with DBH > 2 cm) in *P. sylvestris* var. *mongolica* natural forest in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia were analyzed by the Hegyi's single tree competition index. The results showed that the dominant competitive and objective trees were both of *P. sylvestris* var. *mongolica* and *B. platyphylla* in the plot. The intraspecific competition intensity of *P. sylvestris* var. *mongolica* (0.534) was much higher than the interspecific competition intensity. The intraspecific competition intensity of *P. sylvestris* var. *mongolica* declined gradually with the DBH class increased. There was a power function relationship $CI = A \cdot D^{-B}$ between the intraspecific competition intensity and the DBH of *P. sylvestris* var. *mongolica*, and the change of competition intensity was not obvious when the DBH above 30 cm. The competitive trees of *P. sylvestris* var. *mongolica* had a heavy competition pressure on the other tree species.

Key words: *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.; intra- and inter-specific competition; competition index.

竞争是影响森林生态系统的重要因素, 林木间的竞争可使某些单木的生长空间不断扩大、可利用资源的数量增加, 同时也扩大了对周围树木的影响强度和范围。有研究表明, 通过种群密度和平均大小可以度量竞争的强弱^[1], 但在群体水平上分析竞争会掩盖个体差异的巨大影响^[2]。在个体水平上

进行竞争分析不但能反映个体间的空间相互作用

收稿日期: 2007-11-08

基金项目: 国家重点科技攻关项目(2006BAD26B05); 国家自然科学基金资助项目(30571528; 30671722)

作者简介: 毛磊(1981—), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事景观生态学及水土保持学方面的研究工作。

① 通讯作者 E-mail: yangxh@forestry.ac.cn

(木本植物竞争主要与距离有关),还能直接反映种群特性和环境影响的变化,这种影响对生态系统有决定性作用^[3]。因此,数量化描述单木间的竞争对描述群落结构、揭示群落演替进程有重要意义。20世纪60年代以来,一些学者为更准确地预测林木的生长,相继提出了许多描述林木间竞争强度的数量指标,即竞争指数系统^[4],以 Hegyi^[5]提出的单木竞争指数的预测效果最好。

樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.)天然分布于中国东北地区大兴安岭以西的呼伦贝尔沙地上,为欧洲赤松(*P. sylvestris*)的地理变种。由于樟子松具有耐干旱、耐严寒、耐瘠薄、根系可塑性大且穿透力强,不苛求土壤以及生长快、产量高、材质好、用途广等特点,被广泛引种到东北山地、沿海沙地和“三北”防护林地区。然而,目前有些地方出现樟子松林成片死亡及“老头树”等现象,因此有必要对樟子松原产地的天然林开展深入研究,目前已有的一些相关的研究报告^[6-10],但有关樟子松群落竞争的定量分析研究则并不多见。作者以分布于内蒙古红花尔基自然保护区内的天然樟子松林为研究对象,将 Hegyi 提出的单木竞争指数应用于樟子松林主要种群的竞争研究,旨在更准确地描述其种内和种间竞争状况,进而揭示该林分的结构和动态变化,为樟子松林的保护和经营提供研究依据。

1 研究地自然概况和研究方法

1.1 研究地自然概况

研究地位于内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内,地理位置为:北纬 47°36′~48°35′、东经 118°58′~120°32′。该地区属半湿润半干旱气候,年平均气温 -1.5℃,大于 10℃ 的年积温达 2 000℃;年均降水量 344 mm,主要集中在 7 月至 8 月;年均蒸发量 1 174 mm,干燥度为 1.33;平均无霜期 90 d 左右^[11]。区内以垄状和波状起伏沙地地貌类型为主,海拔 700~1 100 m。樟子松林多为纯林,在阴坡凹地混生有山杨(*Populus davidiana* Dode.)、白桦(*Betula platyphylla* Suk.)及山荆子(*Malus baccata* L.)等伴生树种,形成混交林。

1.2 研究方法

全面勘查樟子松林的林分结构,了解其群落特征,选择有代表性的地段设置 50 m × 100 m 的矩形

样地。用激光测距仪对样地内所有树高超过 1.3 m 的乔木的坐标值进行测量,并测量胸径和冠幅。选取样地内胸径大于 2 cm 且样圆半径内所有的竞争木(competitive tree)均在样地内的乔木为对象木(objective tree)。以 10 m 为样圆半径,依据样圆半径大小,沿样地边界预留 10 m 缓冲区,缓冲区内不选取对象木,以确保对象木的所有竞争木均在样地内。

1.3 数据处理

竞争指数的研究模型较多,以 Hegyi 模型的预测效果最好,因此,本研究使用 Hegyi 提出的单木竞争指数模型计算竞争指数,计算公式为:

$$CI_i = \sum_{j=1}^n \frac{D_j/D_i}{L_{ij}}$$

式中: CI_i 为第 i 株对象木的竞争指数, CI_i 值越大,表明第 i 株对象木承受的竞争越激烈; n 为第 i 株对象木周围的竞争木株数; D_j 为竞争木胸径; D_i 为对象木胸径; L_{ij} 为对象木与竞争木之间的距离。

竞争指数(CI)的计算公式为:

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

式中: N 为对象木的株数。 CI 值越大,表明某种对象木承受的竞争越激烈。

通过植物个体坐标值,计算各竞争木到对象木的距离,再计算出每株对象木的竞争指数, N 个单木间的竞争指数累加和的平均值即为竞争木对对象木的竞争强度。为更好地反映樟子松林各种群间的竞争关系,作者应用 Hegyi 竞争指数分别计算樟子松林内主要乔木树种(樟子松、山杨、白桦、山荆子)的种内种间竞争强度,并对樟子松对象木的胸径与竞争强度进行回归分析,据此对樟子松种内种间竞争强度进行预测,以准确掌握樟子松对象木的胸径与竞争强度间的关系。上述数据的计算主要通过 R 语言及其软件包^[12]实现。

2 结果和分析

2.1 样圆半径选取对不同对象木承受的竞争强度的影响

对象木的样圆半径通常根据林窗半径及对象木树冠的影响范围等因素确定。所调查的红花尔基自

然保护区天然樟子松林样地中樟子松的树冠半径多为3~5 m,考虑到樟子松对光和水分等生态条件的竞争,樟子松对象木样圆半径可选为10 m^[13]。一般认为,只有在树冠或根系发生接触或重叠时,竞争才会出现,所以对象木所受的竞争压力多来自于周围一定距离内的竞争木,离对象木较远的个体对它的竞争会减弱或消失^[14]。因此通过竞争强度随样圆半径递增的速率,可以确定竞争木的分布范围,从而合理地选择样圆半径。以2.5 m为样圆半径增量,确定2.5~20.0 m间8个样圆半径,分别计算选择不同样圆半径时各对象木所承受的竞争强度。当样圆半径增加而竞争强度递增不显著时说明增加的个体对对象木的影响已经很微弱,不能算为竞争木。

红花尔基自然保护区天然樟子松林样地中各样圆半径与不同对象木所承受的竞争强度见表1。由表1可见,在0~10 m范围内,随着样圆半径的增加,各种对象木所承受的竞争强度呈明显递增的趋势;样圆半径达10 m,山荆子、樟子松、山杨和白桦所承受的竞争强度分别为8.708、0.740、2.108和3.874;样圆半径达20 m,山荆子、樟子松、山杨和白桦所承受的竞争强度分别为8.957、0.900、2.467和3.972;两者间的差值(可理解为10~20 m范围内竞争木产生的竞争压力)为0.249、0.160、0.359和0.098。说明距对象木10 m外的个体对对象木的影响很微弱,所以合适的对象木样圆半径应为10 m。

表1 内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内各对象木所承受的竞争强度与样圆半径的关系

Table 1 The relationship between competition intensity endured by different objective trees and plot sampling radius in natural forest of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia

| 样圆半径/m Plot sampling radius | 各对象木所承受的竞争强度 ¹⁾ Competition intensity endured by different objective trees ¹⁾ | | | |
|-----------------------------------|---|-------|-------|-------|
| | 樟子松 | 山杨 | 白桦 | 山荆子 |
| 2.5 | 0.185 | 0.472 | 2.408 | 5.439 |
| 5.0 | 0.379 | 1.081 | 2.856 | 6.976 |
| 7.5 | 0.574 | 1.609 | 3.318 | 7.906 |
| 10.0 | 0.740 | 2.108 | 3.874 | 8.708 |
| 12.5 | 0.575 | 2.288 | 3.910 | 8.771 |
| 15.0 | 0.785 | 2.352 | 3.928 | 8.789 |
| 17.5 | 0.896 | 2.465 | 3.964 | 8.835 |
| 20.0 | 0.900 | 2.467 | 3.972 | 8.957 |

¹⁾ 樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.; 山杨 *Populus davidiana* Dode.; 白桦 *Betula platyphylla* Suk.; 山荆子 *Malus baccata* L.

2.2 对象木与竞争木的组成分析

红花尔基自然保护区天然樟子松林内对象木和竞争木的组成见表2和表3。由表2可见,样地中胸径大于2 cm的对象木以樟子松和白桦个体居多,分别为90和100株;在4种对象木中,樟子松的平均胸径最大,达到22.9 cm。由表3可见,该样地中的竞争木以樟子松居多,共317株,占竞争木总株数的38.33%;其平均胸径达到18.5 cm,远大于其他3种竞争木。研究结果表明,红花尔基自然保护区天然樟子松林样地内樟子松的数量较多且平均胸径较大,说明作为当地建群种的樟子松在整个林分中占有重要地位。

表2 内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内对象木组成分析
Table 2 Composition analysis of objective trees in natural forest of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia

| 种类 ¹⁾ Species ¹⁾ | 株数 Number | 百分率/% Percentage | 平均胸径/cm Average value of DBH |
|---|--------------|---------------------|---------------------------------|
| 樟子松 | 90 | 31.14 | 22.9 |
| 山杨 | 40 | 13.84 | 5.1 |
| 白桦 | 100 | 34.60 | 9.3 |
| 山荆子 | 59 | 20.42 | 3.9 |
| Total | 289 | 100.00 | - |

¹⁾ 樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.; 山杨 *Populus davidiana* Dode.; 白桦 *Betula platyphylla* Suk.; 山荆子 *Malus baccata* L.

表3 内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内竞争木组成分析
Table 3 Composition analysis of competitive trees in natural forest of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia

| 种类 ¹⁾ Species ¹⁾ | 株数 Number | 百分率/% Percentage | 平均胸径/cm Average value of DBH |
|---|--------------|---------------------|---------------------------------|
| 樟子松 | 317 | 38.33 | 18.5 |
| 山杨 | 118 | 14.27 | 2.8 |
| 白桦 | 246 | 29.75 | 7.3 |
| 山荆子 | 146 | 17.65 | 3.7 |
| Total | 827 | 100.00 | - |

¹⁾ 樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.; 山杨 *Populus davidiana* Dode.; 白桦 *Betula platyphylla* Suk.; 山荆子 *Malus baccata* L.

2.3 主要对象木种内及种间竞争强度分析

表4的数据反映了红花尔基自然保护区天然樟子松林内4种主要对象木的种内与种间竞争强度。由表4可知,樟子松、山杨、白桦和山荆子的种内竞争强度分别为0.534、0.054、2.909和5.212,除山杨外,各树种的种内竞争均较种间竞争激烈。一般来说,由于同种植物的个体构造、功能和习性都相同,

因此种内竞争激烈。作为竞争木,樟子松对白桦和山荆子的竞争强度分别为 0.898 和 3.167,分别为白桦和山荆子与各对象木种间竞争强度的最高值;樟子松对山杨的竞争强度为 0.125,高于山杨的种内竞争强度(0.054)。在整个林分中,樟子松的数量较多且平均胸径最大(表 3),并作为当地的建群种处于最适生态位,竞争能力较强,因此,樟子松对其他树种的竞争强度较大,表现为樟子松作为竞争木对其他树种产生较大的种间竞争压力。

表 4 内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内主要种群的种内及种间竞争强度¹⁾

Table 4 Intraspecific and interspecific competition intensities of the dominant populations in natural forest of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia¹⁾

| 对象木 Objective tree | 不同竞争木的竞争强度 Competition intensity of different competitive trees | | | |
|--------------------------|--|-------|-------|-------|
| | 樟子松 | 山杨 | 白桦 | 山荆子 |
| 樟子松 | 0.534 | 0.056 | 0.014 | 0.008 |
| 山杨 | 0.125 | 0.054 | 0.266 | 0.050 |
| 白桦 | 0.898 | 0.046 | 2.909 | 0.021 |
| 山荆子 | 3.167 | 0.479 | 1.097 | 5.212 |

¹⁾ 樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.; 山杨 *Populus davidiana* Dode.; 白桦 *Betula platyphylla* Suk.; 山荆子 *Malus baccata* L.

2.4 不同径级樟子松的种内竞争强度

在红花尔基自然保护区天然樟子松林内,樟子松的种内竞争强度为 0.534,而其他树种对樟子松对象木的竞争强度之和仅为 0.078(表 4)。作为研究地的建群种,樟子松的竞争能力较强,因而樟子松对象木所承受的竞争压力主要来自种内。按胸径 10 cm 为 1 个径级划分出樟子松对象木的径级,各径级的分布情况及樟子松种内竞争强度见表 5。由表 5 可知,樟子松对象木在各径级的分布较均匀,说明样地内的樟子松林为异龄林,种群结构相对稳定。

由表 5 还可以看出,在樟子松生长过程中,种内竞争持续不断,并且种内竞争强度随对象木胸径的增加而减小,这种递减趋势与实际情况相符。径级偏小的樟子松对象木的树高、冠幅和根幅有限,使其在光、热、水、土等资源的竞争中处于劣势,因此小径级樟子松对象木周围的竞争木对其造成的竞争压力比较大,体现在数据上便是竞争强度较大。随着径级的增加,对象木摄取资源的能力加强,同时林木自疏过程使个体间的距离加大,各自的独立性加强,相互间的影响随之降低,因而大径级樟子松对象木周

围不仅竞争木数量少,而且竞争木径级偏小,给对象木造成的竞争压力自然也小,体现在数据上便是竞争强度较小。

表 5 内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内樟子松的径级(DBH)分布及种内竞争分析¹⁾

Table 5 Analyses of diameter class (DBH) distribution and intraspecific competition of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. in natural forest of *P. sylvestris* var. *mongolica* in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia¹⁾

| 径级 Diameter class | 径级分布 Diameter class distribution | | 竞争强度 Competition intensity | |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------|-------|
| | 株数 Number | 百分率/% Percentage | \bar{X} | SD |
| I | 20 | 22.20 | 1.213 | 0.075 |
| II | 20 | 23.33 | 0.905 | 0.046 |
| III | 15 | 16.67 | 0.306 | 0.029 |
| IV | 24 | 27.78 | 0.109 | 0.007 |
| V | 6 | 7.78 | 0.085 | 0.022 |
| VI | 5 | 2.22 | 0.083 | 0.098 |
| Total | 90 | 100.00 | | |

¹⁾ I: DBH 2-10 cm; II: DBH 11-20 cm; III: DBH 21-30 cm; IV: DBH 31-40 cm; V: DBH 41-50 cm; VI: DBH 51-60 cm.

2.5 对象木竞争强度与个体大小的关系

一般来说,植物间的竞争受多种因素的影响,如植株大小、生态习性、邻近个体影响情况和种群演替等,其中,个体大小对其受到的竞争有较大影响。樟子松种内竞争强度随樟子松对象木胸径的增大而递减,用樟子松对象木胸径与竞争强度进行回归分析,通过对多种回归模型比较,发现樟子松对象木胸径与竞争强度近似地服从幂函数关系,即对象木胸径与竞争强度的关系可以表示为: $CI = A \cdot D^{-B}$ 。式中: CI 为竞争强度; D 为对象木胸径; A 、 B 为模型系数。其中,模型的次幂系数 B 均为负值,说明胸径越大竞争强度越低。径级大的对象木,其冠幅和根幅较大,对资源的摄取能力较强,导致周围竞争木的数量较少且竞争力有限,因此随对象木胸径增大,竞争强度逐渐降低。通过对实验数据的模拟得到的相关参数见表 6。

应用回归模型对樟子松种内种间竞争强度进行预测,结果见表 7。由表 7 可见,樟子松的竞争强度随对象木胸径的增大呈降低趋势,在对象木胸径从 2 cm 增加到 30 cm 的过程中,樟子松的竞争强度呈明显下降的趋势;对象木胸径达 30 cm 以上,竞争强度虽有所下降,但下降幅度很小,基本趋于稳定。这是由于在发育初期,樟子松的冠幅、根幅和树高有限,林冠处于被压状态,因此周围竞争木对樟子松的

竞争强度较大。随着樟子松的生长发育,保留下来的个体处于主体层,与周围竞争木都有适合自己的生态位,因此受到周围个体的竞争将减弱。这一结

果可为樟子松林的经营管理提供参考,在樟子松胸径达到 30 cm 前辅以人工管理措施,可使该生态系统尽快达到稳定状态。

表6 内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内樟子松竞争强度与胸径(DBH)的模型参数¹⁾

Table 6 Model parameters of competition intensity and DBH of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. in natural forest of *P. sylvestris* var. *mongolica* in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia¹⁾

| 竞争范围 Competition range | A | B | R | N |
|---|-------|-------|-----------|----|
| 樟子松与整个林分 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and whole forest | 8.072 | 1.008 | 0.679 * * | 90 |
| 樟子松与其他种群 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and other trees | 5.081 | 1.404 | 0.691 * * | 90 |
| 樟子松种内 Intraspecies of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> | 5.916 | 1.011 | 0.863 * * | 90 |

¹⁾ A, B: 模型参数 Parameters of model; R: 相关系数 Correlation coefficient; N: 样本数 Number of samples; * *: $P < 0.01$.

表7 内蒙古红花尔基自然保护区天然樟子松林内不同径级樟子松种内种间竞争强度的模拟预测结果¹⁾

Table 7 Simulating results of intraspecific and interspecific competition intensities of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv. with different diameter classes in natural forest of *P. sylvestris* var. *mongolica* in Honghuaerji Nature Reserve of Inner Mongolia¹⁾

| 竞争范围 Competition range | 不同径级的竞争强度 Competition intensity of different diameter classes | | | | | | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII |
| 樟子松与整个林分 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and whole forest | 1.593 | 0.527 | 0.315 | 0.224 | 0.173 | 0.142 | 0.120 |
| 樟子松与其他种群 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> and other trees | 0.530 | 0.113 | 0.055 | 0.034 | 0.024 | 0.018 | 0.014 |
| 樟子松种内 Intraspecies of <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i> | 1.162 | 0.383 | 0.228 | 0.163 | 0.126 | 0.103 | 0.087 |

¹⁾ I: DBH 2-10 cm; II: DBH 11-20 cm; III: DBH 21-30 cm; IV: DBH 31-40 cm; V: DBH 41-50 cm; VI: DBH 51-60 cm; VII: DBH 61-70 cm.

3 结论和讨论

一般认为,林分中普遍存在树木个体间的竞争,个体竞争是影响群落结构和动态变化的主要因素,对个体竞争进行数量化研究,能更准确地反映个体间的竞争状况,进而解释和预测整个群落的动态变化过程。在单木竞争的研究中使用 Hegyi 竞争指数的研究很多,多数研究者认为选取对象木过于主观,使对象木的胸径近似于正态分布^[15-16]。胸径近似服从正态分布的森林多被认为是同龄林^[17],然而天然林多为异龄林,因此选择胸径近似于正态分布的对象木不一定能恰当地通过竞争分析反映群落的动态变化。本研究选取样地中心区域内所有胸径大于 2 cm 的主要乔木树种(樟子松、山杨、白桦、山荆子)为对象木,运用 Hegyi 竞争指数分别对群落内主要优势种群进行种内种间竞争分析,消除了对象木选取过程中的人为干扰,能更恰当地反映天然樟子松林内各种群间的竞争关系和群落的动态变化。

樟子松作为竞争木对其他 3 种对象木(山杨、白桦和山荆子)均产生了较高的种间竞争强度,表明樟

子松对林分施加的竞争压力最大。通常在群落形成初期先锋树种有很强的竞争能力,但随着群落的演替,更适于群落生境的建群树种将占据群落结构的主体,先锋树种的竞争能力则随之下降,在群落的顶级阶段先锋树种将退出群落。调查中发现,山杨和白桦多分布在林窗内,且林下的樟子松幼苗和幼树较多,说明山杨和白桦为樟子松幼苗提供了良好的阴蔽环境。当林下樟子松逐渐成熟时,山杨和白桦逐渐稀疏,最终退出群落,因此,樟子松对其他树种的激烈竞争直接影响了群落的演替方向,使该群落最终演替为樟子松纯林。

樟子松种内竞争强度为 0.534,其他树种对樟子松对象木的竞争强度之和仅为 0.078,表明樟子松承受的竞争压力主要来自种内。由于樟子松种内个体间有相同的生态习性和生态幅度,因此种内竞争较为激烈,随着其他树种被林下樟子松幼苗所取代,种内竞争强度有继续增大的可能,甚至会影响樟子松植株的正常生长发育。

在光照不同和林分密度不同的环境下,樟子松的高生长和胸径生长存在很大差异,在郁闭度为 0.3 ~ 0.5 的疏林中,樟子松高生长快、胸径生长正

常、材积生长数高^[18],因此,樟子松林分应保持适当的密度。相关研究结果也表明,由于樟子松混交林的土壤有机质、速效氮、速效磷的含量高于纯林,混交林的土壤容重小于纯林、持水力高于纯林,因而,混交林可有效改善土壤理化性质和土壤营养状况^[19]。另外,樟子松纯林的物种多样性也有降低趋势^[20]。因而,虽然樟子松是国家二级珍贵保护树种,但考虑到整个森林群落的健康发展,应适当控制樟子松林分的间伐密度,并混栽适量的伴生树种,以确保樟子松个体生长良好。

植株的竞争能力取决于该种类的生态习性和生态幅度,而植株所处的发育阶段也对其竞争能力有显著影响。通过对不同径级樟子松对象木的种内竞争分析可知,樟子松种内竞争强度随胸径的增加而减小。用樟子松对象木胸径与竞争强度进行回归分析,发现对象木胸径与竞争强度近似于幂函数关系($CI = A \cdot D^{-B}$)。利用这一幂函数预测发现,当樟子松对象木胸径大于30 cm后,竞争强度趋于稳定。因此,在樟子松个体胸径达到30 cm前进行必要的人工抚育和经营管理,将有利于樟子松个体生长发育并能促使该生态系统趋于稳定。

参考文献:

- [1] Ford E D. Competition and stand structure in some even-aged plant monocultures[J]. *J Ecol*, 1975, 63(1): 311 - 333.
- [2] Mack R N, Harper J L. Interference in dune annual: spatial pattern and neighborhood effects[J]. *J Ecol*, 1977, 65(2): 345 - 363.
- [3] Huston M A, Deangelis D L, Post W. New competition models unite ecological theory[J]. *Bioscience*, 1988, 38(10): 682 - 691.
- [4] 马建路, 李君华, 赵惠勋, 等. 红松老龄林红松种内种间竞争的数量研究[C]//祝宁. 植物种群生态学研究现状与进展. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1994: 147 - 153.
- [5] Hegyi F. A simulation model for managing jack-pine stands[C]//Fries J. Growth Models for Tree and Stand Simulation. Stockholm: Royal College of Forestry, 1974: 74 - 90.
- [6] 曾德慧, 尤文忠, 范志平, 等. 樟子松人工固沙林天然更新障碍因子分析[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 257 - 261.
- [7] 移小勇, 赵哈林, 崔建垣, 等. 科尔沁沙地不同密度(小面积)樟子松人工林生长状况[J]. *生态学报*, 2006, 26(4): 1200 - 1206.
- [8] 张劲松, 孟平, 孙惠民, 等. 毛乌素沙地樟子松蒸腾变化规律及其与微气象因子的关系[J]. *林业科学研究*, 2006, 19(1): 45 - 50.
- [9] 朱教君, 康宏樟, 李智辉, 等. 水分胁迫对不同年龄沙地樟子松幼苗存活与光合特性影响[J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2527 - 2533.
- [10] 陈伏生, 曾德慧, 范志平, 等. 章古台沙地樟子松人工林土壤有效氮的研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(3): 6 - 11.
- [11] 郑元润. 红花尔基沙地樟子松种群优势度增长动态及自疏规律研究[J]. *武汉植物学研究*, 1997, 17(4): 339 - 344.
- [12] Venables N W, Ripley B P. MASS Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [DB/OL]. [2007-06-20]. <http://www.R-project.org>.
- [13] 邹春静, 王庆礼, 韩士杰. 长白山暗针叶林建群种竞争关系的研究[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(2): 101 - 105.
- [14] 王政权, 吴巩固, 王军邦. 利用竞争指数评价水曲柳落叶松种内种间空间关系[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(5): 641 - 645.
- [15] 邹春静, 徐文铎. 沙地云杉种内、种间竞争的研究[J]. *植物生态学报*, 1998, 22(3): 269 - 274.
- [16] 李先琨, 苏宗明, 欧祖兰, 等. 元宝山冷杉群落种内与种间竞争的数量关系[J]. *植物资源与环境学报*, 2002, 11(1): 20 - 24.
- [17] 李景文. 森林生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981: 92.
- [18] 苏红军, 赵锋, 李洪光. 沙地樟子松生长规律的研究[J]. *防护林科技*, 2005(5): 12 - 14.
- [19] 吴祥云, 刘广, 韩辉. 不同类型樟子松人工固沙林土壤质量的研究[J]. *防护林科技*, 2001(4): 15 - 17.
- [20] 杨帆, 刘康, 王效科. 内蒙古红花尔基沙地樟子松群落多样性变异研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(4): 192 - 196.