

# 红花尔基沙地樟子松天然林枯立木特征分析\*

赵中华<sup>1</sup>, 刘 灵<sup>2</sup>, 王宏翔<sup>1</sup>, 王千雪<sup>2</sup>,  
胡艳波<sup>1</sup>, 张吉利<sup>2</sup>, 王春来<sup>3</sup>, 惠刚盈<sup>1\*\*</sup>

(1. 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;

2. 国家林业局哈尔滨林业机械研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 3. 红花尔基林业局森林调查大队, 内蒙古 海拉尔 021112)

**摘要:** [目的] 了解沙地樟子松天然纯林中枯立木的数量及空间结构特征, 探究枯立木形成的原因, 为樟子松林的保护和经营提供依据。 [方法] 在沙地樟子松天然纯林中设置 2 块 1 hm<sup>2</sup> 的大样地, 用全站仪对样地中所有胸径大于 5 cm 的立木进行定位并进行全面调查; 对调查样地的基本特征, 枯立木的数量特征及径级分布进行了分析, 提出了用于表达林分中枯立木微环境的活立木比的概念, 并采用林分空间结构参数一元分布和二元分布分析方法, 对枯立木与其最近 4 株相邻木的关系进行分析。 [结果] 2 块不同密度的樟子松天然纯林下更新幼苗和枯立木数量相差较大, 密度较小(样地 1)的样地更新幼苗和枯立木较少, 而密度较大的样地(样地 2)中枯立木达到 200 棵, 林下更新幼苗数量达到 15 280 株·hm<sup>-2</sup>; 樟子松天然纯林样地内枯立木主要以小径级木为主, 胸径集中在 11 cm 以下; 样地 1 枯立木径级连续分布, 幅度较窄; 样地 2 中的枯立木径级幅度较宽, 但在 20~22 cm 缺刻, 有 2 株大于 23 cm 的枯立木; 2 块样地中枯立木的分布格局均为随机分布, 样地 1 中枯立木周围的 4 株相邻立木大多为活立木, 且胸径较枯立木大; 样地 2 中, 只有一半的枯立木周围的最近 4 株立木为活立木, 且有三分之一以上的枯立木胸径不是最小的, 枯立木有连续分布的现象。 2 块样地中枯立木的角尺度-大小比数二元分布特征差异不明显, 而角尺度-活立木比二元分布特征和大小比数-活立木比二元分布特征差异明显, 样地 1 中枯立木的最近 4 株随机分布于其周围的相邻木为活立木且胸径大于枯立木的比例明显高于样地 2, 而枯立木最近 4 株随机分布于其周围的相邻木有枯立木的比例明显小于样地 2。 [结论] 樟子松天然纯林枯立木以小径级林木为主, 枯立木的数量与林分密度相关, 林木竞争是林木死亡的主要原因, 密度过大也会产生病虫害, 因此, 对天然樟子松纯林要进行适度经营, 保持合理密度。

**关键词:** 沙地樟子松; 天然纯林; 枯立木; 红花尔基

中图分类号: S791.253

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)05-0788-09

## Dead Standing Trees Characteristics Analysis of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Natural Forest in Honghuaerji

ZHAO Zhong-hua<sup>1</sup>, LIU Ling<sup>2</sup>, WANG Hong-xiang<sup>1</sup>, WANG Qian-xue<sup>2</sup>, HU Yan-bo<sup>1</sup>, ZHANG Ji-li<sup>2</sup>,  
WANG Chun-lai<sup>3</sup>, HUI Gang-ying<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Harbin Research Institute of Forestry Machinery, State Forestry Administration, Harbin 150086, Heilongjiang, China; 3. The Forestry Bureau of Honghuaerji, Hailaer 021112, Inner Mongolia, China)

**Abstract:** [Objective] To understand the characteristics and forming of dead standing trees of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest and provide the basis for the protection and management of *P. sylvestris* var. *mongolica*

收稿日期: 2016-10-18

基金项目: 国家自然科学基金(31370638)

作者简介: 赵中华(1976—), 男, 内蒙古巴彦淖尔市人, 副研究员, 主要从事天然林经营模拟。E-mail: zhh-zhao@163.com

\* 致谢: 本研究得到呼伦贝尔市林业局王玉华副局长的大力支持, 野外调查中红花尔基林业局森林调查大队耿庆春队长给予了热情关照, 王春来、詹春明、包瑞、刘海利和姚长明等同志参与了野外调查, 在此一并表示衷心感谢。

\*\* 通讯作者: 惠刚盈(1961—), 男, 陕西富平人, 研究员, 博士生导师, 主要从事森林经营研究。E-mail: Hui@caf.ac.cn

natural pure forest. [Method] Two plots were set up with total station in different density *P. sylvestris* var. *mongolica* natural forest with a area of 1 hm<sup>2</sup> each. All the trees with diameter larger than 5 cm were located and surveyed. The basic characteristics of sample plots, the quantitative characters and class distribution of dead standing trees were analyzed and the concept of living tree ratio was proposed to express the micro environment around dead standing in stand, at the same time, the method of stand spatial structure parameter distribution and bivariate distribution was used to analyze the relationship of the dead standing trees with the nearest 4 adjacent trees. [Result] There was significant difference between amounts of seedlings and dead standing in the *P. sylvestris* var. *mongolica* natural forest with different density. The plot 1 was less in stand density, where the amounts of both seedlings and dead standing were less, while that of plot 2 were 15 280 stem · hm<sup>-2</sup> and 200 trees respectively. The dead standing trees of *P. sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest were mainly small diameter and their diameter was below 11 cm. The diameter classes of plot 1 followed a continuous distribution and the range was narrow; the diameter class range of plot 2 was broad and it was discontinuous in 20 ~ 22 cm, there had 2 dead standing trees which diameter was larger than 23 cm. The distribution pattern of dead standing in *P. sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest followed a random distribution; mostly the 4 adjacent trees around the dead standing trees were living trees and their diameter larger than that of the dead standing trees in plot 1. In half case, all the 4 adjacent trees around dead standing trees were living trees and more than one-third of dead standing trees which DBH were not minimal. The dead standing trees showed the continuous distribution phenomena in plot 2. The difference of dead standing trees bivariate distribution of the uniform angle index and neighbourhood comparison were not obviously and the difference of dead standing tree bivariate distribution of the uniform angle index and mingling, and neighbourhood comparison were obviously. The proportion of 4 adjacent trees randomly distributed around dead standing trees were all living trees and their DBH larger than that of the dead standing trees were significantly higher in plot 1 than in plot 2, however, the proportion of 4 adjacent trees randomly distributed around dead standing trees were dead standing trees were significantly lower in plot 1 than in plot 2. [Conclusion] Mostly, the dead standing trees in *P. sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest are small diameter trees, the amount of dead standing trees is related to the stand density, and competition is the main reason causing the death of forest trees. When the density of *P. sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest is too high, it is prone to suffer from pest. Therefore, *P. sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest need to maintain a reasonable density.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* var. *mongolica*; natural pure forest; dead standing trees; Honghuaerji

林木个体的生长发育和死亡是森林生态系统动态过程的重要特征,它不仅取决于林木自身的遗传特性,而且取决于生境质量及林木对环境资源的利用能力<sup>[1-2]</sup>。枯立木广泛存在于森林生态系统中,是森林生态系统的重要组成部分之一,它们在森林生态系统中发挥着许多重要的、独特的生态功能,参与能量流动和养分循环,影响土壤和沉积物质的运输和储存,是许多物种的栖息地和生存基质<sup>[3-7]</sup>。在早期的森林生态学研究,一般都以活立木为研究对象,枯立木并不被学者和管理人员所重视,直至20世纪中后期,美欧等国家开始了森林粗木质残体(Coarse Woody Debris, CWD)相关研究,枯死木和枯立木对整个生态系统起到巨大贡献才逐步被人们所认识<sup>[8-9]</sup>。20世纪80年代起,为森林生态系统结构

和功能研究提供基础性数据支持,为森林资源保护、经营提供借鉴和参考<sup>[10-17]</sup>,国内学者相继针对不同地区的各种森林类型中的枯死木、枯立木的数量特征、分布格局、结构和功能等开展了研究,但对枯立木的微环境研究重视不够。

樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv.)是欧洲赤松(*P. sylvestris* Carr.)的一个地理变种,在我国主要集中分布在呼伦贝尔高原东部、海拉尔河中游及支流伊敏河、辉河流域和哈拉哈河上游一带的固定沙丘上。沙地樟子松为第三纪孑遗植物,是研究物种起源、进化、演替和新物种培育重要的基因资源<sup>[18-19]</sup>;此外,樟子松具有喜光、耐旱、抗寒、耐土壤瘠薄等特点,在生态治理以及环境保护中的防风固沙作用显著,因此,在以往的研究中就樟子松林的植

物属的分布区类型、种子植物区系、遗传多样性、群落结构、天然更新、生长状况及结实规律以及林火的影响、引种适应性及发展潜力等方面开展了大量的研究工作<sup>[20-25]</sup>,然而对于樟子松天然林枯立木的特征鲜有报道,本文利用天然樟子松纯林每木定位样地,研究樟子松林中枯立木的数量及空间结构特征,以期探讨枯立木的成因,为保护和经营樟子松林提供借鉴。

## 1 研究区及样地概况

研究地位于内蒙古呼伦贝尔红花尔基自然保护区内。红花尔基是樟子松天然林分布最具有代表性的地段,林带长约150 km、宽10~20 km,地理位置为47°36'~48°35'N, 118°58'~120°32'E。该地区属半湿润半干旱气候,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;年平均气温-1.5℃,大于10℃的年积温达2 000℃;平均无霜期90 d左右。区内以垄状和波状起伏沙地地貌类型为主,海拔700~1 100 m。红花尔基樟子松林多为纯林,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。

2015年8月,在红花尔基自然保护区诺干诺尔林场的樟子松纯林中较为平缓的地段运用全站仪设立了2个面积为100 m×100 m的每木定位固定样地,样地海拔815 m,坡度小于3度。据当地林业部门记载,2块样地所在的林班仅在1985年以前采用渐伐的方式进行过木材生产,保留部分母树,进行天然更新,此后30年多年没有进行过任何经营活动。

## 2 数据调查与分析

### 2.1 样地调查

对样地内所有胸径大于5 cm的立木,包括活立木和枯立(倒)木运用全站仪进行定位,对样地进行全面调查,调查内容包括坡度、海拔、郁闭度、树高、树种、胸径、更新等。树高采用布鲁莱斯测高器进行测量;样地位置(地理坐标、海拔)采用GPS确定;在样地4个角和中心分别设置10 m×10 m的样方,再把10 m×10 m的样方划成4个5 m×5 m的小样方,调查灌木、草本及更新幼苗或幼树。

### 2.2 数据分析

样地中活立木和枯立木的水平分布格局运用森

林空间结构分析软件 Winkelmass 进行分析,在分析不同立木的分布格局时需要单独进行分析,如分析枯立木的水平格局时,需要将活立木的坐标去除,并运用角尺度判断林木分布格局检验方法判断林木分布格局<sup>[26]</sup>。在分析枯立木微环境特征时采用李远发等<sup>[27]</sup>提出的林分空间结构二元分布方法,将枯立木和活立木坐标放在一起用空间结构参数来进行分析,此时,将枯立木周围最近4株邻体中活立木所占的比例定义为活立木比,用来表达枯立木周围活立木的分布数量。Winkelmass 在计算空间结构参数时为避免边缘效应对林分结构的影响,本研究设置了5 m缓冲区,核心区面积为90 m×90 m。

## 3 结果与分析

### 3.1 樟子松天然林的基本特征

对2块沙地樟子松样地进行全面调查发现,样地内所有胸径大于5 cm的林木均为樟子松,在更新调查中几乎没有发现其它树种,灌木也非常罕见;样地基本特征如表1所示,样地中活立木的径级分布如图1所示。图1表明,样地1活立木的径级结构呈多峰山状曲线,而样地2的径级结构则呈左偏单峰结构,2块样地的径级分布类似于同龄林;按照樟子松林龄级与龄组的划分标准,2块样地的林分应该为幼中林。表1表明,2块样地中的更新幼苗高度绝大部分为小于10 cm的幼苗,其中,样地1中的幼苗仅有2 960株·hm<sup>-2</sup>,草本层的盖度较大,达到了80%以上;而样地2林下更新的幼苗则达到15 280株·hm<sup>-2</sup>,草本盖度则小于50%,但需要指出的是调查过程中几乎看不到幼树。产生这种现象的原因可能有2种情况,一方面可能是由于在过去取材时保留母树的数量不同,导致土壤种子库中种子数量的差异,进而导致更新幼苗较少;另一方面可能与林分密度以及草本盖度有直接关系,由于样地2密度较大,林内光照不足,导致草本植物难以生长,樟子松幼苗得以更新,但由于林分密度过大,幼苗很难成为幼树;对于样地1而言,由于密度低,草本植物大量生长,与樟子松幼苗竞争激烈,导致更新无法完成。曾德慧等<sup>[28]</sup>研究认为,樟子松幼苗更新与草本的盖度存在着一定的相关性,适宜的草本盖度对樟子松更新有促进作用,当盖度大于80%则对樟子松幼苗的更新起到阻碍作用,本研究的调查结果也印证了这一推论。

表1 沙地樟子松天然纯林样地的基本特征

Table 1 The plot characteristics of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest

| 样地代码<br>Plot code | 坡度<br>Slope/<br>(°) | 海拔<br>Average elevation<br>/m | 郁闭度<br>Canopy density | 平均胸径<br>Average diameter<br>/cm | 平均树高<br>Average height<br>/m | 断面积<br>Basal area/<br>(m <sup>2</sup> · hm <sup>-2</sup> ) | 密度<br>Density/<br>(株 · hm <sup>-2</sup> ) | 蓄积<br>Stock volume/<br>(m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> ) | 更新幼苗<br>Regeneration seedling/<br>(株 · hm <sup>-2</sup> ) | 草本盖度<br>Herbaceous coverage<br>/% |
|-------------------|---------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|--|---|---|---|-----------------------------------|
| 1                 | <3                  | 815                           | 0.7                   | 21.3                            | 14.8                         | 33.6   | 940                                       | 209.1   | 2 960   | >80                               |
| 2                 | <3                  | 815                           | 0.7                   | 21.0                            | 16.3                         | 39.8   | 1 149                                     | 273.8   | 15 280  | <50                               |

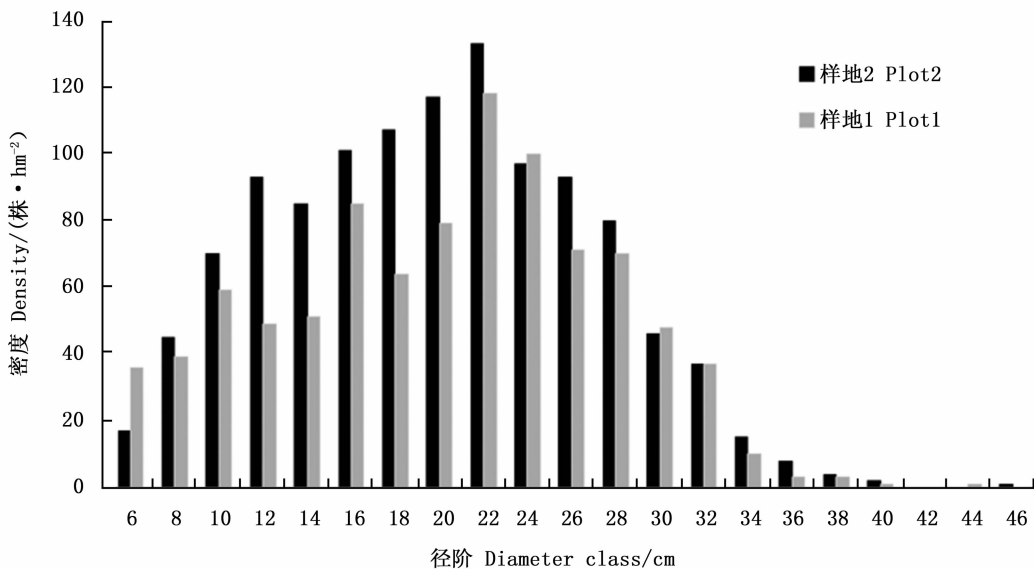


图1 樟子松天然林样地活立木径级分布

Fig. 1 The standing timber diameter distribution of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest

### 3.2 沙地樟子松天然林枯立木数量特征

2块样地中几乎没有倒木,样地1中共有枯立木67株,平均胸径为7.8 cm,平均高为8.4 m,枯立木树干上并没有发现明显的虫害痕迹;样地2内有枯立木200株,平均胸径为9.4 cm,平均高为7.5 m,其中,有32株枯立木树干上发现了明显的虫害痕迹,占全部枯立木的16%。对2块样地枯立木径级结构进行统计分析,如图2所示。由图2可以看出,样地1中枯立木胸径主要分布在5~7 cm之间,占全部枯立木的55.2%,7~9 cm和9~11 cm的枯立木比例相差不大,分别占全部枯立木的17.9%和16.4%,大于11 cm的枯立木仅占10.4%,说明样地中绝大数枯立木胸径小于11 cm。样地2中枯立木径级分布幅度较样地1宽,最大胸径达到26 cm,其中,胸径在5~7 cm和7~9 cm的枯立木比例分别为34.5%和29.5%,二者合计占全部枯立木的64%,胸径在9~11 cm的枯立木为15.5%,其他径阶的枯立木的比例均小于10%,随着径阶的增大,

枯立木株数减少。值得注意的是,在样地1中,枯立木径阶分布没有出现间断的现象,而在样地2中,没有胸径在20~22 cm间的枯立木,而大于23 cm的枯立木也仅有2株。

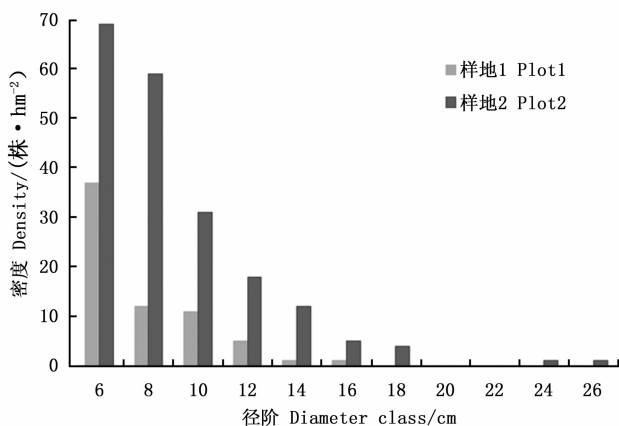


图2 樟子松天然林样地枯立木径级分布

Fig. 2 The dead standing trees diameter distribution of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest

### 3.3 樟子松天然林枯立木空间结构特征

3.3.1 枯立木分布格局 运用空间结构分析软件 Winkelmass 对 2 块样地的立木的分布格局进行分析,包括活立木和枯立木。样地 1 所有立木的平均角尺度为 0.470,样地 2 所有立木的平均角尺度也为 0.470。运用 Zhao zhonghua 等<sup>[26]</sup>提出的角尺度判断林木分布格局检验方法对这 2 块样地的格局进行判断,2 块样地都为均匀分布向随机分布过渡类型。对样地中的枯立木的分布格局进行分析,图 3 为 2 块样地中枯立木的分布图及角尺度分布频率。在样地 1 中,枯立木之间的最小平均距离为 6.17 m,最大平均距离为 13.65 m,枯立木组成的结构单元有

60%的角尺度值为 0.5,有 13%的为 0.25,角尺度为 0.75 和 1 的分别为 18% 和 9%,样地中没有角尺度为 0 的结构单元,枯立木的平均角尺度为 0.539,其分布格局为随机分布。在样地 2 中,枯立木之间的最小平均距离为 3.38 m,最大平均距离为 7.42 m,枯立木组成的结构单元角尺度值为 0.5 的占 55%,为 0.25 的占 21%,为 0.75 和 1 的分别占 17% 和 7%,该样地中也没有角尺度为 0 的结构单元,枯立木的平均角尺度为 0.508,其分布格局也为随机分布。由以上分析可以看出,2 块样地中枯立木的分布格局与整个林分的分布格局不同,林分中枯立木的死亡表现出一定的随机性。

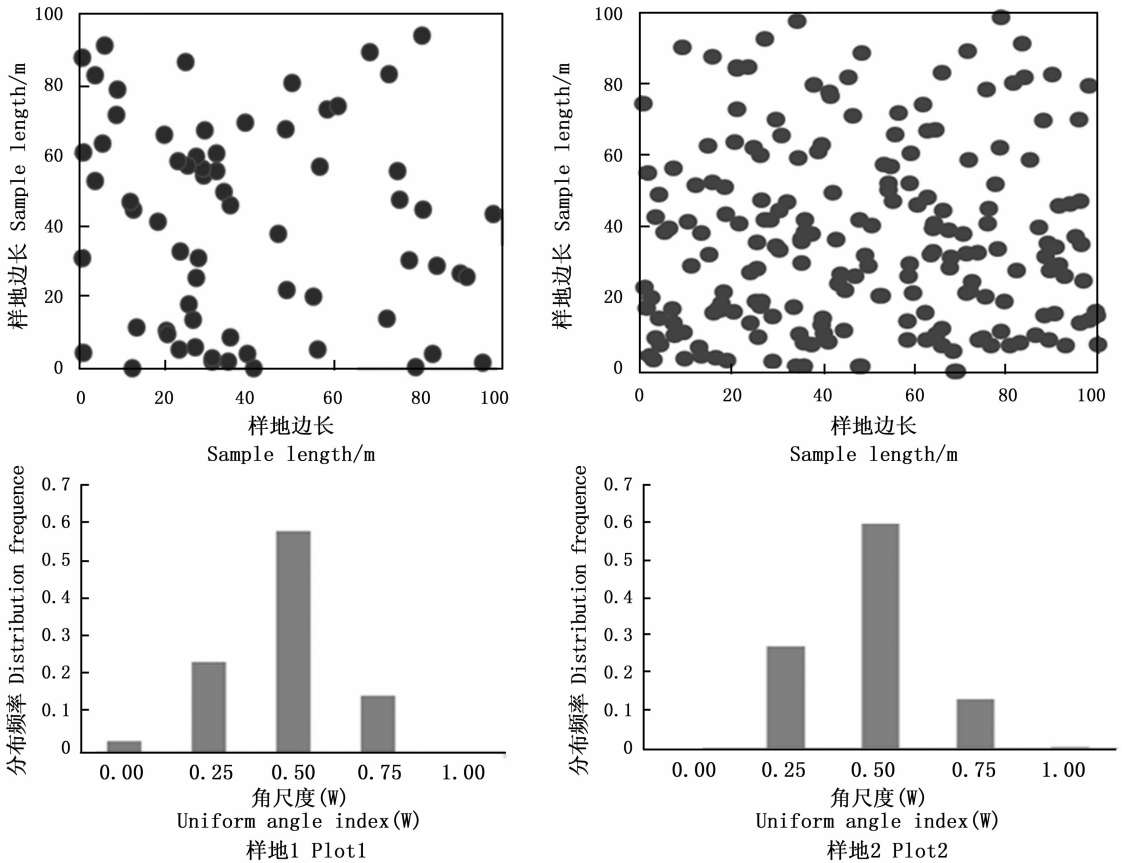


图 3 樟子松天然林枯立木分布图及角尺度分布频率

Fig. 3 The dead standing trees distribution pattern of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* forest

3.3.2 樟子松天然林枯立木最近相邻木特征 将 2 块样地所有立木作为研究对象,分析以枯立木为参照树与其最相邻 4 株立木组成的结构单元的特征。表 2 为 2 块样地中所有枯立木的空间结构参数的分布特征。由表 2 可以看出:在 2 块样地中,枯立木最近 4 株相邻立木大多随机分布在枯立木周围,完全均匀或聚集的比例极少;在样地 1 中,76.1% 的

结构单元中枯立木周围的 4 株相邻立木的胸径较其大,20.9% 的结构单元枯立木周围有 3 株较其胸径大,仅有 3% 的枯立木周边分布有 2 株较其小的立木,样地中没有枯立木比 3 株或 4 株相邻木都大的结构单元。与样地 1 不同,在样地 2 中,有 64.5% 的枯立木周边 4 株最近相邻木的胸径较其大,有 1 株和 2 株相邻立木较枯立木小的结构单元所占比例分

别为 27.5% 和 6%, 有 3 株相邻木较枯立木小的结构单元的比例为 2%; 从 2 块样地的活立木比可以看出, 在样地 1 中, 有 80.6% 的枯立木周围分布的是活立木, 19.4% 的枯立木与 1 株枯立木相邻, 样地中没有 2 株以上枯立木相邻的情况。在样地 2 中, 有

52.5% 的枯立木周围分布的是活立木, 有 38% 的枯立木与 1 株枯立木相邻, 分别有 7.5% 和 2.0% 的枯立木周围分布有 2 株和 3 株枯立木。以上分析表明, 在样地 1 中枯立木很少连续分布, 而样地 2 中, 枯立木连续分布的现象比较普遍。

表 2 沙地樟子松天然纯林样地枯立木结构参数一元分布特征

Table 2 Distribution characteristics of structural parameters of the dead standing trees in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest

| 参数取值 Parameter value    | 样地 1 plot 1 |       |       |       |       | 样地 2 plot 2 |       |       |       |       |
|-------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 0           | 0.25  | 0.5   | 0.75  | 1     | 0           | 0.25  | 0.5   | 0.75  | 1     |
| 角尺度 Uniform angle index | 0.030       | 0.239 | 0.582 | 0.149 | 0.000 | 0.000       | 0.270 | 0.595 | 0.130 | 0.005 |
| 大小比数 Dominance          | 0.000       | 0.000 | 0.030 | 0.209 | 0.761 | 0.000       | 0.020 | 0.060 | 0.275 | 0.645 |
| 活立木比 Living tree ratio  | 0.000       | 0.000 | 0.000 | 0.194 | 0.806 | 0.000       | 0.020 | 0.075 | 0.380 | 0.525 |

3.3.3 樟子松天然林枯立木二元分布特征 为进一步解析 2 块样地中枯立木空间结构特征, 对 2 块样地枯立木结构参数进行两两联合, 分析枯立木空间结构参数的二元分布特征, 如图 4 所示。由图 4 可以看出: 在样地 1 中, 角尺度 - 大小比数的 25 种组合关系中, 出现了 9 种组合, 大小比数为 1 和角尺度为 0.5 组合的频率最高, 占有枯立的 41.8%, 即有 41.8% 的枯立木周围最近 4 株相邻立木较大且随机分布在其周围; 其次为大小比数为 1, 角尺度值为 0.25 的组合, 占有枯立木的 19.4%, 处于第三位的是大小比数为 0.75, 角尺度值为 0.5 的组合, 占有枯立木的 14.9%; 处于第 4 位是大小比数为 1, 角尺度为 0.75 的组合, 占枯立木的 11.9%; 还有 5 种组合关系所占比例都较小, 总计占枯立木的 11.9%。角尺度 - 活立木比二元分布的 25 种组合关系, 仅出现了 6 种, 其中, 角尺度为 0.5, 活立木比为 1 的组合占 44.8%, 其次为角尺度为 0.25, 活立木比为 1 的组合, 其比例为 17.9%, 处于第三位的是角尺度值为 0.75, 活立木比为 1 的组合, 其比例为 14.9%, 处于第 4 位的是角尺度为 0.5, 活立木比为 0.75 的组合, 其比例为 13.4%; 还有 2 种组合分别为角尺度为 0.25, 活立木比为 0.75 及角尺度为 0, 活立木比为 1 的组合, 其比例分别为 6% 和 3%, 样地中再没有其他组合。样地 1 大小比数 - 活立木比仅出现 5 种组合关系, 其中, 大小比数为 1, 活立木比为 1, 0.75 和 0.25 的组合的比例分别为 67%、10% 和 3%, 大小比数为 0.75, 活立木比为 1 和 0.75 组合的比例分别为 9% 和 10%。从以上分析可以看出, 在样地 1 中, 以枯立木为参照树的结构参数二元分布组合关系相对单一, 绝大多数枯立木都较其相邻木

小, 这些相邻木大多为活立木且随机地分布在枯立木周围。

在样地 2 中, 角尺度 - 大小比数的 25 种组合关系, 出现了 12 种, 其中, 角尺度为 0.5, 大小比数为 0, 0.25, 0.5, 0.75 和 1 的这 5 种组合的比例分别为 0%, 1.5%, 4.0%, 17.5% 和 36.5%; 角尺度为 0.25, 大小比数仅出现 0.5, 0.75 和 1 这 3 种组合, 其比例分别为 0.5%, 7.0% 和 19.5%; 角尺度为 0.75, 大小比数为 0.25, 0.5, 0.75 和 1 这 4 种组合, 其比例分别为 0.5%, 1.5%, 3.0% 和 8.0%; 角尺度为 1, 大小比数也为 1 的组合比例为 0.5%。角尺度 - 活立木比 25 种组合关系, 出现了 11 种, 角尺度为 0.5, 随着活立木比的增加 (0.00→1.00), 其组合比例分别是 0%, 2.0%, 4.5%, 25.0% 和 28.0%; 角尺度为 0.25, 仅出现活立木比为 0.5, 0.75 和 1 这 3 种组合, 其比例分别为 2.0%, 8.0% 和 17.0%; 角尺度为 0.75, 与活立木比组合也为 3 种类型, 即活立木比为 0.5, 0.75 和 1, 其比例分别是 1.0%, 5.0% 和 7.0%。角尺度为 1, 活立木比也为 1 的比例仅为 0.5%。大小比数 - 活立木比 25 种组合关系, 出现了 12 种, 其中, 当活立木比为 1 时, 出现 4 种组合, 即大小比数为 0.25, 0.5, 0.75 和 1, 其比例分别为 1.0%, 2.0%, 19.0% 和 43.5%; 随着活立木比的减小, 出现的组合增加。当活立木比为 0.75 时, 出现 4 种组合, 即大小比数为 0.25, 0.5, 0.75 和 1, 其比例分别为 1.0%, 2.0%, 17.5% 和 7.0%; 当活立木比为 0.5 时, 出现 4 种组合, 即大小比数为 0.25, 0.5, 0.75 和 1, 其比例分别为 0.5%, 3.0%, 1.5% 和 1.0%;

从 2 块样地的枯立木结构参数一元分布和二元分布特征分析可以看出, 运用一元分布特征能够解

析样地中枯立木与其周围4株相邻木的总体特征和差异,对于2块样地来说,也能从一元分布中看到一些差异,但其不能明确提供每棵枯立木与周围最近4株相邻木的关系;运用结构参数二元分布能够更加详尽的刻画每株枯立木与其相邻木的关系。从图4可以看出:2块样地中,二元分布更加明确地反映出了林分中枯立木与最近相邻木的关系,样地2枯立木结构参数二元分布组合较样地1复杂,其中,角

尺度-大小比数二元分布特征2块样地相差不大,但角尺度-活立木比二元分布特征和大小比数-活立木比二元分布特征2块样地表现出明显的差异:样地1中,枯立木的最近4株随机分布于其周围的相邻木为活立木且胸径大于枯立木的比例明显高于样地2,而样地2中,枯立木最近4株随机分布于其周围的相邻木有枯立木的比例明显高于样地1,这进一步说明了样地2中枯立木有连续死亡的情况。

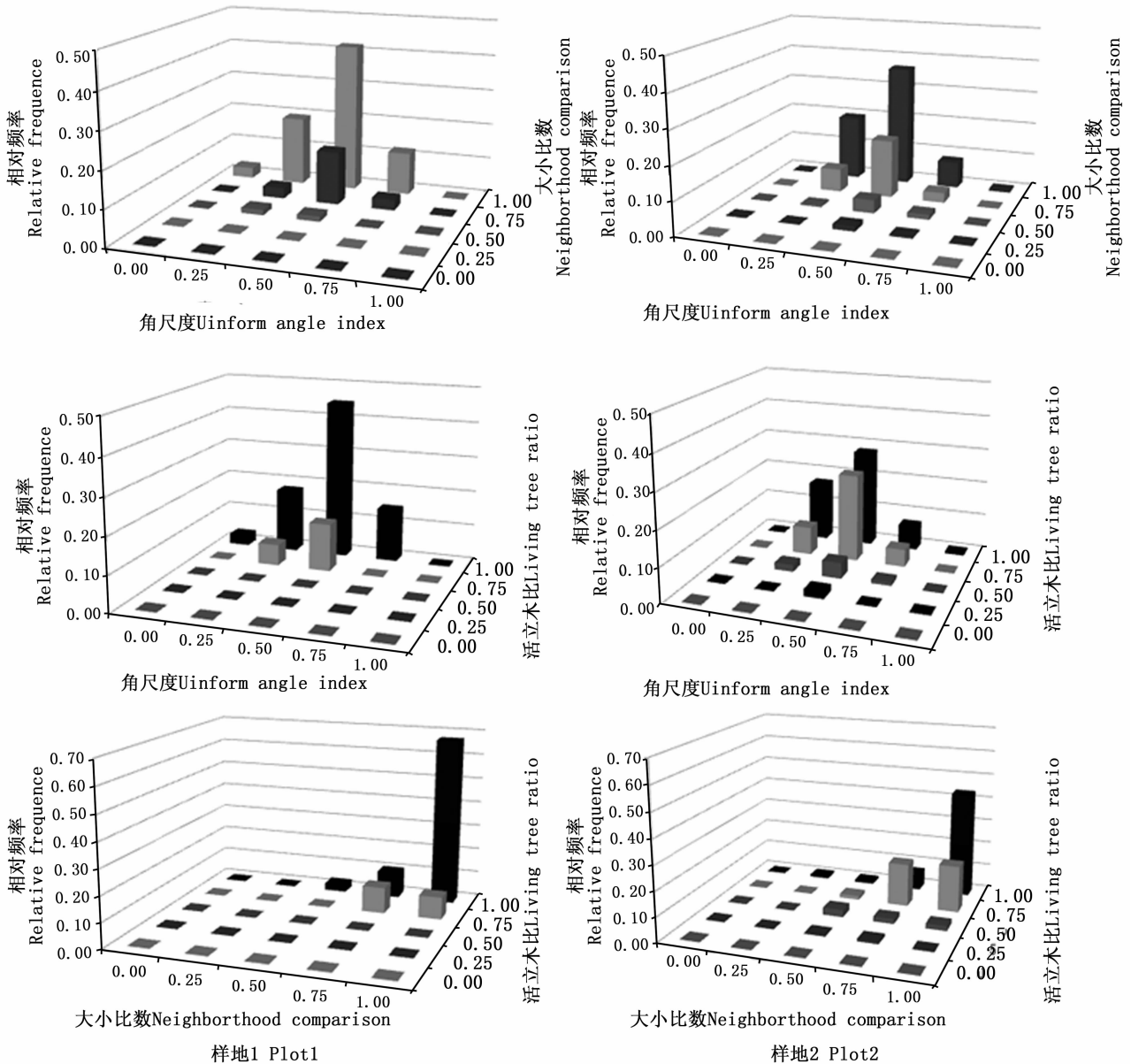


图4 樟子松样地枯立木空间结构参数二元分布图

Fig. 4 Distribution characteristics of spatial structure parameter two element distribution of the dead standing trees in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural pure forest

#### 4 讨论

枯立木是森林生态系统物质循环不可或缺的重

要组成部分,为林分更新提供场所,在保持生态系统的完整性方面扮演着重要角色。沙地樟子松天然纯林是一个比较独特的森林生态系统,在红花尔基诺

干诺尔林场建立的2块樟子松天然纯林样地相距不远,样地立地条件基本相同,但样地内的活立木和枯立木特征不尽相同。从2块样地的活立木径级分布特征来看,既不像典型人工林直径分布,也与典型天然林倒“J”型径阶结构不同,分析原因可能为此林分正处于演替更新的早期阶段,发育尚未完全<sup>[29]</sup>。从2块样地的枯立木的数量特征上来看,样地1中枯立木数量较少,样地2中较大,且都以小径级林木为主,胸径集中在11 cm以下;从空间分布来看,2块样地中的枯立木均为随机分布,与林木整体的分布格局不同,说明样地中枯立木的形成是随机的;2块样地中的枯立木所处的微环境差异明显,样地1中的枯立木周围的4株相邻立木大多为活立木,且胸径较枯立木大;样地2中,只有一半的枯立木周围的相邻4株立木为活立木,且有三分之一以上的枯立木胸径不是最小的,枯立木有连续分布的现象。

植物个体间的竞争主要是对水、气、光、热及营养元素的竞争,是影响植物生长、形态和存活的主要因素之一。班勇等<sup>[11]</sup>对兴安落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) 老龄林的枯立木研究认为,枯立木的形成主要有3个原因,即火烧、被压导致生长衰退直至死亡和寿命终极3个方面,出现倒木是老龄林的特征之一。对于本研究的2块样地而言,近50年没有遭受火烧,样地中几乎看不到倒木,因此,林木也没有达到寿命终极阶段,因而造成林分中出现枯立木的主要原因是林木间的竞争激烈,小径木被压而导致死亡。对于样地1而言,密度较小,林木个体间的平均距离较大,生长空间相对较大,林木间对资源的竞争相对较弱,因而林内的死亡林木数量较少,也很少出现枯立木连续分布的现象;而样地2的林分密度相对较大,林木的生长空间较小,因而出现了枯立木连续分布的现象。

## 5 小结

樟子松天然林在其主要分布区生态治理以及防风固沙方面扮演着重要的角色,国家也把樟子松列为二级珍贵保护树种,对樟子松林进行了严格的保护,特别是天然林保护工程实施以来,对于樟子松林的经营管理日趋严格。本研究分析了樟子松天然林中枯立木的特征,为分析枯立木的微环境特征和成因,提出了活立木比的概念。从2块樟子松天然纯林的林分特征和枯立木特征来看,樟子松林密度过大会导致林木竞争非常的激烈,容易出现大量的枯

立木。因此,樟子松纯林要进行适度的经营。对于样地1所代表的林分类型来说,首先伐除林分中所有不健康林木和枯立木,选择生长健壮的林木作为培育对象,并伐除影响其生长的最近相邻木,保证其至少2面受光,保持合理的密度,此外,还需要对林下草本植物采取除草破土的措施,增加林下更新。对于样地2代表的林分类型而言,首先要大幅度降低林分密度,将林分中的枯立木伐除,特别是要将已发现了明显的虫害痕迹的枯立木进行清理,降低病虫害及森林火险等级;然后,选择生长健壮的林木作为培育对象,运用结构化经营方法中的大小比数、密集指数等指数来指导结构优化,降低培育对象的竞争压力,增加生长空间,适当增加林内天窗,促进林下更新,最终实现培育健康稳定森林的目的。

## 参考文献:

- [1] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, et al. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems[J]. *Advances in Ecological Research*, 2004, 34(C): 59-234.
- [2] Sturtevant B R, Bissonette J A, Long J N, et al. Coarse woody debris as a function of age, stand structure, and disturbance in boreal new-land[J]. *Ecology*, 2008, 7(2), 702-712.
- [3] Bi H. Competition in mixed stands of *Pinus radiata* and *Eucalyptus obliqua*[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(1): 87-99.
- [4] 罗大庆, 郭泉水, 薛会英. 藏东南亚高山冷杉林林隙特征与干扰状况研究[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(7): 777-780.
- [5] 陈华, 徐振邦. 粗木质物残体生态研究历史、现状和趋势[J]. *生态学杂志*, 1991, 10(1): 45-56.
- [6] Franklin J F, Shugart H H, Harmon M E. Tree death as an ecological process. The causes, consequences, and variability of tree mortality[J]. *Bioscience*, 1987, 37: 550-556.
- [7] Woldendorp G, Keenan R J. Coarse woody debris in Australian forest ecosystems: A review[J]. *Austral Ecology*, 2005, 30: 834-843.
- [8] 王殿龙, 刘妍妍. 森林粗木质残体研究综述[J]. *林业科技情报*, 2009, 41(4): 1-3.
- [9] 何东进, 何小娟, 洪伟, 等. 森林生态系统粗木木质残体的研究进展[J]. *林业科学研究*, 2009, 22(5): 715-721.
- [10] 卢志军, 刘福岭, 吴浩, 等. 八大公山常绿阔叶阔叶混交林枯立木物种组成、大小级与分布格局[J]. *生物多样性*, 2015, 23(2): 167-173.
- [11] 班勇, 徐化成, 李湛东. 兴安落叶松老龄林落叶松死亡格局以及倒木对更新的影响[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(5): 449-454.
- [12] 罗大庆, 郭泉水, 黄界, 等. 西藏色季拉原始冷杉林死亡木特征研究[J]. *生态学报*, 2004, 24(3): 635-639.
- [13] 张璐, 贺立静, 区余端, 等. 南岭自然保护区常绿阔叶林枯立木数量特征分析[J]. *福建林学院学报*, 2012, 32(1): 64



- 69.

- [14] 玉 宝, 张秋良, 王立明. 兴安落叶松过伐林枯立木分布格局特征分析[J]. 林业科学研究, 2015, 28(1):81-87.
- [15] 闫恩荣, 王希华, 黄建军. 森林粗死木质残体的概念及其分类[J]. 生态学报, 2005, 25(1):158-167.
- [16] 喻 泓, 杨晓晖, 慈龙骏, 等. 呼伦贝尔沙地樟子松空间格局对地表火干扰的响应[J]. 北京林业大学学报, 2009, 31(1):1-6.
- [17] 安 云, 丁国栋, 高广磊, 等. 华北土石山区天然次生林枯立木数量特征与分布格局[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4):246-250.
- [18] 毛 磊, 杨丹青, 王冬梅, 等. 红花尔基自然保护区天然樟子松林种内种间竞争分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(2):9-14.
- [19] 元征征, 李政海, 贾树海, 等. 呼伦贝尔林草交错区沙地樟子松林群落结构特征分析[J]. 北方园艺, 2013, 20(20):79-84.
- [20] 王继和, 满多清, 刘虎俊. 樟子松在甘肃干旱区的适应性及发展潜力研究[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4):390-394.
- [21] 吴春荣, 金红喜, 严子柱, 等. 樟子松在西北干旱沙区的光合日变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(6):144-146.
- [22] 洪 涛. 甘肃干旱荒漠区樟子松育苗技术及林木的适应性研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2005.
- [23] 孙洪志, 石丽艳. 沙地樟子松的空间分布格局[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(1):93-94.
- [24] 任丽娟, 岳永杰, 耿庆春, 等. 红花尔基樟子松群落结构及物种多样性研究[J]. 内蒙古农业大学学报:自然科学版, 2013, (3):58-64.
- [25] 王 妍, 卢 琦, 吴 波, 等. 呼伦贝尔沙地樟子松种群更新潜力[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(2):248-253.
- [26] Zhonghua Zhao, Gangying Hui, Yanbo Hu, *et al.* Testing the Significance of different Tree Spatial Distribution Patterns based on the Uniform Angle Index [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2014, 44(11):1417-1425.
- [27] Yuanfa Li, Gangying Hui, Zhonghua Zhao, *et al.* Spatial structural characteristics of three hardwood species in Korean pine broad-leaved forest—Validating the bivariate distribution of structural parameters from the point of tree population [J]. Forest Ecology and Management. 2014, 314:17-25.
- [28] 曾德慧, 尤文忠, 范志平, 等. 樟子松人工固沙林天然更新特征[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3):257-261.
- [29] 刘 灵, 胡艳波, 王千雪, 等. 沙地樟子松天然纯林的结构特征[J]. 林业科学研究, 2016, 29(5):623-629.

(责任编辑:彭南轩)