

# 兴安落叶松过伐林枯立木分布格局特征分析

玉 宝<sup>1</sup>, 张秋良<sup>2\*</sup>, 王立明<sup>3</sup>

(1. 国家林业局管理干部学院,北京 102600; 2. 内蒙古农业大学林学院,内蒙古 呼和浩特 010019;

3. 中国人民武装警察部队警种指挥学院,北京 102202)

**摘要:**以内蒙古根河林业局潮查林场境内的在 20 世纪 80 年代初主伐利用后形成的兴安落叶松过伐林为研究对象,利用兴安落叶松林 8 块标准地每木定位数据,分析林木分布格局和样方(5 m×5 m)林木株数对枯立木株数影响,探讨了林分大树和更新幼树位置与枯立木位置的关系,阐明了枯立木分布格局形成机制。结果表明:1)各树种枯立木比例,随树种组成成数增加而增大。枯立木主要在更新幼树阶段形成,径级分布集中在 4 径阶以下,其株数占总数的比例平均达 82.2%。在更新幼树(含枯立木)中,生成枯立木的比例平均达 8.8%。2)枯立木分布格局为聚集分布。林木分布格局、样方林木株数和更新株数与枯立木株数有显著正相关关系,林木分布格局对枯立木分布格局无显著影响。林木聚集度越大,形成枯立木的可能性越大,数量也就越多。3)枯立木位置与更新幼树和大树位置有显著相关关系。主要表现为落叶松和白桦相互关系。枯立木出现位置主要在大树和更新幼树集聚区域。大树对枯立木形成影响较更新幼树大,而且均以落叶松较白桦明显。白桦更新幼树对落叶松枯立木的形成,无显著影响。受影响的枯立木主要是枯立木株数中所占比例和树种组成成数较高的树种。影响枯立木位置的林木主要取决于其样方内位置和林木株数。

**关键词:**兴安落叶松;过伐林;枯立木;分布格局

中图分类号:S791.222

文献标识码:A

## Analysis on Distribution Pattern Characteristics of Standing Dead Trees in *Larix gmelinii* Overcutting Forest

YU Bao<sup>1</sup>, ZHANG Qiu-liang<sup>2</sup>, WANG Li-ming<sup>3</sup>

(1. State Academy of Forestry Administration, Beijing 102600, China; 2. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University,

Huhhot 010019, Inner Mongolia, China; 3. Command College of Armed Police Forces of China, Beijing 102202, China)

**Abstract:** The *Larix gmelinii* overcutting forest formed by final cutting in the 1980s at Chaocha Forest Farm, Genhe Forestry Bureau of Inner Mongolia was investigated. Based on the tree's location data of 8 sample plots in the *L. gmelinii* forest, the impacts of forest stand pattern and quadrat (5 m×5 m) stem-number on the amount of dead standing trees were analyzed, the relationship between the location of big trees and the regeneration saplings and the location of dead standing trees was discussed, and the forming mechanism of distribution pattern of dead standing trees was clarified. The results are as follows. 1. The ratio of dead standing trees increased with the increase of tree species. The dead standing trees were formed mainly in the stage of regeneration saplings, with the diameter class distribution mainly being below the fourth diameter class, and the average ratio of trees accounting for 82.2% of the total. In the regeneration saplings (including dead standing trees), an average ratio of production of dead standing

收稿日期:2014-04-03

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAD22B0204)。

作者简介:玉 宝(1976—),男,蒙古族,内蒙古通辽人,博士后,副研究员,从事生态学理论与生态控制技术、森林培育理论与技术方面的研究。E-mail:nmlyb8@sina.com。

\* 通讯作者:男,教授,博士,博士生导师,从事森林经理学和森林生态学研究。E-mail:zql@mail@vip.sina.com。

trees is 8.8%. 2. The distribution of dead standing trees followed a aggregated pattern. The forest stand pattern, the quadrat stem-number and the amount of regeneration trees were in a significant correlation with the amount of dead standing trees. The forest stand pattern had not a significant effect on the pattern of dead standing trees. If the degree of aggregation of the forest is greater, the probability of the formation of dead standing trees will be greater, and the amount will be greater. 3. The location of dead standing trees had a significant correlation with the location of regeneration saplings and regeneration big trees. The main performance was the mutual relation between larch and white birch. The location of dead standing trees was mainly at the aggregation area of the big trees and regeneration saplings. Compared to the regeneration saplings, the big trees had greater impact on the dead standing trees, and specifically, the impact from larch was greater than that from the white birch. The white birch's regeneration saplings had not a significant impact on the formation of larch's dead standing trees. The dead standing trees affected were mainly the species with a higher ratio or greater amount of dead standing trees upon the species of trees. The forest that had an impact on dead standing trees depended mainly on the position of the sample trees and the stem-number.

**Key words:** *Larix gmelinii*; overcutting forest; standing dead trees; distribution pattern

枯立木是森林生态系统物质循环<sup>[1-2]</sup>不可或缺的重要组成部分,为林分更新提供场所<sup>[3]</sup>。与林火干扰有关联<sup>[4]</sup>,与林分结构和功能有着密切关系<sup>[5-6]</sup>,对林分结构与功能具有重要作用。过去主要以粗木质残体(coarse woody debris, CWD)形式对枯立木(standing dead trees, STD)的研究屡见不鲜。CWD是森林生态系统中重要的结构性和功能性组成要素<sup>[7]</sup>。在国外,20世纪60年代就开始了相关研究。并以CWD功能研究<sup>[3,8-10]</sup>为主。国内在这方面的研究起步较晚,20世纪80年代开始开展了相关研究。以围绕CWD数量特征<sup>[11-13]</sup>和存在形式研究<sup>[14-15]</sup>为主。对分布格局<sup>[13,16]</sup>研究较少,尤其对CWD发生的生态学现象和分布规律等仍未得到合理揭示<sup>[15,17-18]</sup>。目前,国内对于CWD的研究尚处于起步阶段<sup>[19]</sup>、对枯立木的研究仍处于初级阶段<sup>[13]</sup>。对CWD定义尚不统一<sup>[11,19-20]</sup>,将枯立木既能划入CWD<sup>[17,21]</sup>,也能划入细木质残体(fine woody debris, FWD)<sup>[11,15]</sup>,将其成为两者的重要组成部分。

STD包含于CWD,但具有它独特的特点和功能。目前对枯立木树种组成、径级结构和生物量等以基本特征方面研究为居多<sup>[13]</sup>。而且包含STD的CWD和FWD相关研究,随林分起源、龄级和人为干扰等情况,具有多样性<sup>[13,19]</sup>。目前,对大兴安岭地区枯立木的研究相对较少<sup>[12,19-20]</sup>,而且以数量特征等基础性研究为主。专门针对兴安落叶松过伐林枯立木研究未见报道,对枯立木格局特征及其主要成因的研究尚属空白。对枯立木形成机制研究是该领域研究难点。本文以兴安落叶松过伐林为研究对

象,分析枯立木数量特征和分布格局,探讨枯立木出现位置与林木分布格局和其它林木位置相互关系及影响机制。旨在为过伐林结构优化经营,提供技术参考。对进一步了解和研究过伐林林木竞争、自然稀疏和群落演替过程具有重要意义。

## 1 研究区概况

研究地点选择在内蒙古大兴安岭森林生态系统国家野外科学观测研究站(121°30'~121°31' E, 50°49'~50°51' N)。海拔800~1100 m。属寒温带湿润气候区,年平均气温-5.4℃,最低气温-50.0℃,≥10℃积温为1403℃;年降水量为450~550 mm,60%集中在7—8月,无霜期为80 d。林下土壤为棕色针叶林土,土层厚度为20~40 cm,基岩以花岗岩与玄武岩为主。森林以兴安落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.)为建群种的寒温带针叶林。伴生树种有白桦(*Betula platyphylla* Suk.)、山杨(*Populus Davidiana* Dode.)等。林下主要有杜鹃(*Rhododendron dahuricum* DC.)等灌木和红花鹿蹄草(*Pyrola incarnate* Fisch.)、舞鹤草(*Maianthemum bifolium* (Linn.) F. W. Schmidt)等草本植物。

20世纪50年代成立了内蒙古根河林业局,负责该地区林分经营、保护和管理的工作。1982—1986年对调查地林分进行了采伐作业,作业方式为100 m等带间隔皆伐,间隔期10 a,作业面积150 hm<sup>2</sup>左右。林型为杜鹃-落叶松、杜香-落叶松和草类-落叶松林交错分布。伐前林龄120~180 a,蓄积量80~120 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>,郁闭度0.2~0.4,上层

母树群团状分布,更新密度 1 500 ~ 2 400 株/hm<sup>2</sup>,幼树年龄 5 ~ 15 a,幼树组成 5 落 5 桦。20 世纪 90 年代初开始转为抚育经营。

## 2 研究方法

设置 8 块方形标准地(表 1),面积 20 × 30、30 × 30、40 × 40 m<sup>2</sup> 等,进行每木检尺。调查标准地内更新树种( $D < 5.0$  cm)、大树( $D \geq 5.0$  cm)和枯立木的胸径、树高、分布格局以及每一种株数等。以标准地西南角作为坐标原点,用皮尺测量每株树木在该标准地内的相对坐标( $X, Y$ ), $X$  表示东西方向坐标, $Y$  表示南北方向坐标。应用方差/均值比率法( $V/\bar{X}$ )、平均拥挤度( $\bar{M}$ )、聚块性指标( $\bar{M}/M$ )、丛生指标( $I$ )、负二项参数( $K$ )、Cassie 指标( $CA$ )等 6 种聚集度指标<sup>[22]</sup> 检验林木分布格局。公式及判别标准:

(1)  $V/\bar{X}$ :  $\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)$ ;  $\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i / n$ 。式中: $n$  为样方数; $X_i$  为第  $i$  样方样本数; $V$  为样本方差; $\bar{X}$  为样本均值。 $V/\bar{X} < 1$  时,均匀分布; $V/\bar{X} = 1$  时,随

机分布; $V/\bar{X} > 1$  时,聚集分布。(2)  $\bar{M}$  与  $\bar{M}/M$ :  $\bar{M} = M + (V/M - 1)$ 。式中: $V$  为样本方差; $M$  为样本均值。 $\bar{M} < M$  时,均匀分布; $\bar{M} = M$  时,随机分布; $\bar{M} > M$  时,聚集分布。 $\bar{M}/M < 1$  时,均匀分布; $\bar{M}/M = 1$  时,随机分布; $\bar{M}/M > 1$  时,聚集分布。(3)  $I$ :  $I = (V/\bar{X}) - 1$ 。式中: $V$  为样本方差; $\bar{X}$  为样本均值。 $I < 0$  时,均匀分布; $I = 0$  时,随机分布; $I > 0$  时,聚集分布。(4)  $K$ :  $K = \bar{X}^2 / (V - \bar{X})$ 。式中: $V$  为样本方差; $\bar{X}$  为样本均值。 $K$  值愈小,聚集度越大,如果  $K$  值趋于无穷大,则逼近泊松分布。(5)  $CA$ :  $CA = 1/K$ 。式中: $K$  为负二项参数。 $CA < 0$  时,均匀分布; $CA = 0$  时,随机分布; $CA > 0$  时,聚集分布。

应用 Excel 软件,对数据的计算及处理。运用 SPSS Statistics 17.0 软件,进行相关性分析以及检验等数据统计分析。将标准地内的主要 3 个树种白桦、落叶松和山杨分为更新幼树(B 幼、L 幼、S 幼)、枯立木(B 枯、L 枯、S 枯)和大树(B 大、L 大、S 大)等。对其相对坐标、数量和分布格局进行相关性分析。

表 1 标准地基本情况

标准地号	平均高/m	平均胸径/cm	林分密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	树种组成	枯立木密度/(株·hm <sup>-2</sup> )	枯立木树种比例/%			更新密度/(株·hm <sup>-2</sup> )
						落叶松	白桦	山杨	
1	13.2	13.6	1 433	5 落 3 桦 2 杨	456	92.7	4.9	2.4	1 256
2	9.9	10.8	1 019	9 桦 1 落 + 杨	169	14.8	81.5	3.7	3 675
3	9.4	8.1	1 994	6 桦 4 落 + 杨	169	14.8	70.4	14.8	4 788
4	10.9	10.4	2 238	5 落 5 桦 - 杨	75	41.7	58.3	0.0	2 925
5	10.5	9.1	1 983	5 桦 5 落 + 杨	150	11.1	88.9	0.0	3 150
6	10.7	9.6	2 775	7 落 3 桦 + 杨	675	90.7	9.3	0.0	3 713
7	10.9	12.0	1 750	6 落 3 桦 1 杨	113	72.2	11.1	16.7	1 475
8	12.1	12.8	1 425	7 落 3 桦 + 杨	63	0.0	40.0	60.0	1 069

## 3 结果与分析

### 3.1 枯立木径级分布

各标准地枯立木株数和各树种的比例有所不同。各树种枯立木比例与树种组成成数直接有关。成数越大,该树种枯立木比例也越大(表 1)。8 号标准地枯立木比例最高为山杨而并非落叶松,这可能除了枯立木总株数少之外还与林分密度、林木分布格局等结构有关系。

枯立木径级分布较广,16 径阶以下均有枯立木,但主要集中在 4 径阶以下(图 1)。8 块标准地 4 径阶以下枯立木株数占总数的比例分别为:41.5%、85.2%、96.3%、75%、100%、92.6%、66.7%、100%。说明,中幼龄林枯立木主要形成于更新幼树

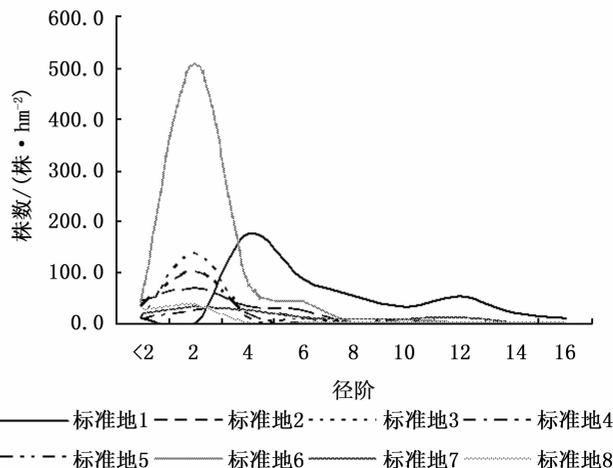


图 1 各标准地枯立木径级结构

阶段。在更新幼树(含枯立木)中,生成枯立木的比例平均达8.8%。8块标准地比例分别为:26.6%、4.6%、3.9%、2.5%、4.7%、15.4%、7.2%、5.6%。

### 3.2 枯立木分布格局

各标准地枯立木分布格局均为聚集分布(表2)。根据相关性分析结果,林木(含枯立木)和更新幼树分布格局与枯立木分布格局无显著相关关系。说明,林木和更新幼树分布格局对枯立木格局无显著影响。但枯立木株数与林木和枯立木格局有显著相关关系(表3),与更新幼树分布格局无显著相关。林木  $V/\bar{X}$ 、 $\bar{M}/M$ 、 $I$ 、 $CA$  等4个指标和枯立

木  $V/\bar{X}$ 、 $\bar{M}$ 、 $I$  等3个指标与枯立木株数均呈正相关关系(表3)。林木分布格局聚集度越大,形成枯立木的可能性越大,枯立木数量就越多(图2)。在林木更新阶段,聚集分布格局会满足幼苗的生长需要,可以群聚的形式来增强对其它植物种竞争的能力<sup>[23]</sup>。但在后期生长阶段,在竞争中淘汰一部分林木来释放空间。随着枯立木的数量增加,在林分调查各样方内枯立木平均株数也随之增加,并且样方间株数差异随之加大的可能性。从而影响了枯立木的分布格局。

表2 各标准地林木和枯立木分布格局

标准地号	项目	分布格局参数						分布格局
		$V/\bar{X}$	$\bar{M}$	$\bar{M}/M$	$I$	$K$	$CA$	
1	林木	2.29	9.15	1.16	1.29	6.09	0.16	聚集分布
	枯立木	2.11	2.24	1.97	1.11	1.03	0.97	聚集分布
2	林木	4.56	15.73	1.29	3.56	3.42	0.29	聚集分布
	枯立木	1.28	0.71	1.63	0.28	1.58	0.63	聚集分布
3	林木	3.96	20.62	1.17	2.96	5.95	0.17	聚集分布
	枯立木	2.16	1.80	2.82	1.16	0.55	1.82	聚集分布
4	林木	3.43	15.55	1.19	2.43	5.40	0.19	聚集分布
	枯立木	1.10	0.31	1.51	0.10	1.94	0.51	聚集分布
5	林木	2.58	14.83	1.12	1.58	8.39	0.12	聚集分布
	枯立木	1.96	1.33	3.56	0.96	0.39	2.56	聚集分布
6	林木	7.74	24.65	1.38	6.74	2.66	0.38	聚集分布
	枯立木	2.68	3.37	2.00	1.68	1.00	1.00	聚集分布
7	林木	2.48	9.83	1.18	1.48	5.66	0.18	聚集分布
	枯立木	1.55	0.84	2.84	0.55	0.54	1.84	聚集分布
8	林木	1.61	7.01	1.09	0.61	10.53	0.09	聚集分布
	枯立木	1.19	0.36	2.12	0.19	0.90	1.12	聚集分布

表3 枯立木株数与林木和枯立木格局参数相关系数

项目	林木格局参数				枯立木格局参数		
	$V/\bar{X}$	$\bar{M}/M$	$I$	$CA$	$V/\bar{X}$	$\bar{M}$	$I$
$R^2$	0.874**	0.808*	0.874**	0.808*	0.792*	0.895**	0.792*
$P$	0.005	0.015	0.005	0.015	0.019	0.003	0.019
$N$	8	8	8	8	8	8	8

注:“\*”表示0.05水平上显著,“\*\*”表示0.01水平上显著。下同。

### 3.3 林木株数影响

标准地林木株数和更新幼树数量对枯立木株数有显著影响。尽管林分密度与枯立木株数无显著相关。但样方内的林木株数与枯立木株数间有显著的相关关系。除了标准地4和5以外,其他标准地林分全株数(含枯立木)或更新株数与枯立木株数呈

正相关关系(表4)。其中,标准地林木全株数和枯立木株数的相关性较为普遍。样方内的更新株数的差异性(图2标准地1~7),导致了各标准地相关关系的变量并非完全一致(表4)。说明,标准地林木株数较多前提下,更新株数增加时枯立木数量也随之增多。林木株数与样方大小有关系,并且在样方间差异性大。将样方扩大到10 m×10 m时,枯立木株数仅与标准地1、6、7、8等4块标准地全株数有显著正相关(相关系数略),但与更新株数无显著相关关系。这可能枯立木株数除了与更新株数有关以外,还与其位置有关。在大尺度上可能将削弱更新位置影响,因为更新幼树主要以聚集形式出现,枯立木主要在更新幼树中形成。

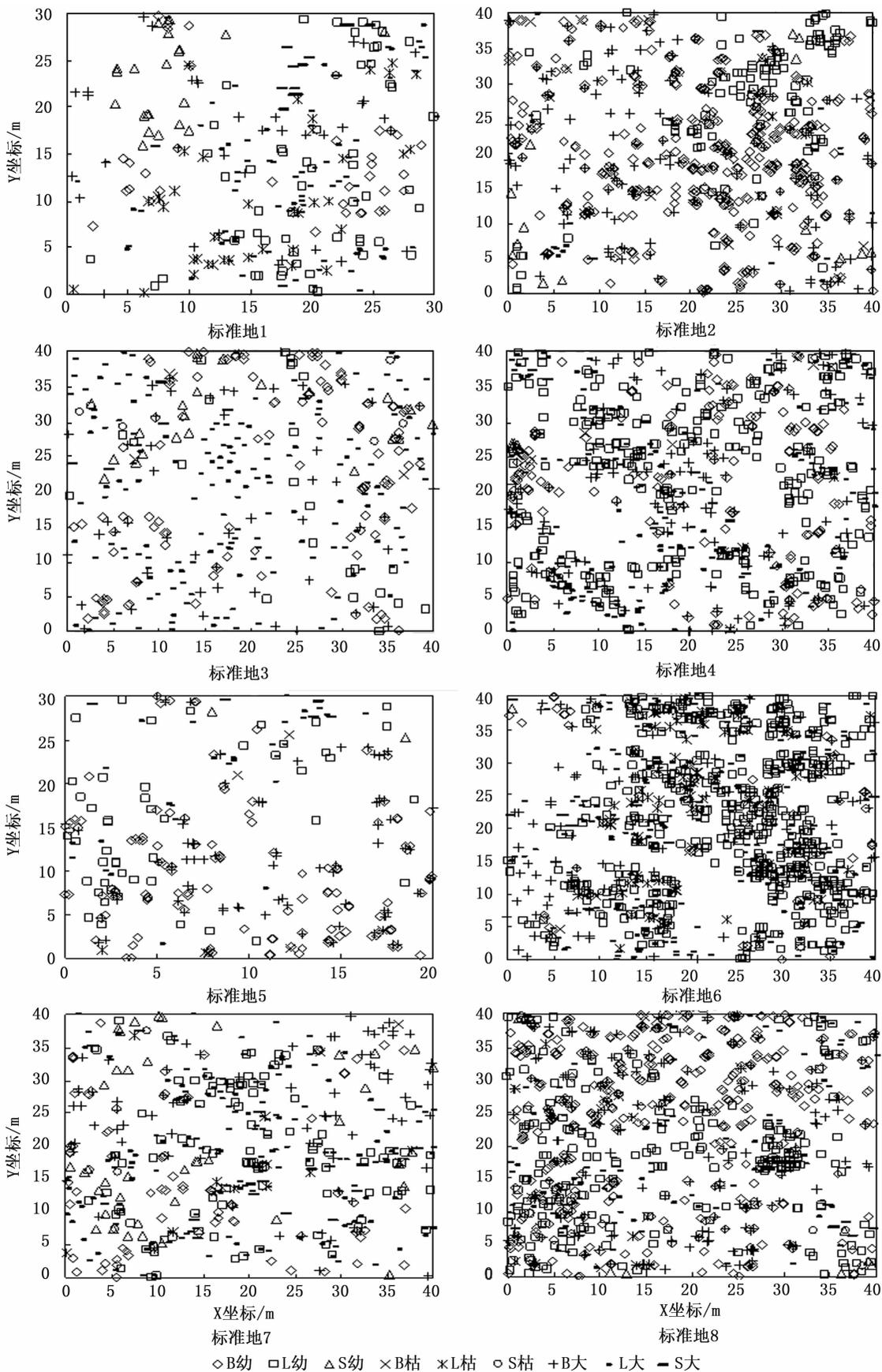


图2 各标准地枯立木分布

表4 枯立木株数与更新幼树和标准地全株数的相关系数

标准地号	变量	$R^2$	$P$	$N$
1	全株数	0.379 *	0.023	36
2	更新株数	0.269 *	0.032	64
	全株数	0.374 **	0.002	64
3	更新株数	0.288 *	0.021	64
	全株数	0.420 **	0.001	64
6	更新株数	0.472 **	0.000	64
	全株数	0.659 **	0.000	64
7	全株数	0.493 **	0.000	64
8	更新株数	0.289 *	0.021	64
	全株数	0.371 **	0.003	64

### 3.4 枯立木位置

明确了出现枯立木的可能原因后,如何确定枯立木形成的位置。这是关键而又非常困难的问题。枯立木坐标与更新幼树和大树坐标有显著的相关关系(表5)。主要表现为落叶松和白桦相互关系,但标准地之间差异较大。由于山杨组成成数少的缘故,无相关关系。大树对枯立木形成影响较更新幼树大。其中,落叶松大树影响较白桦大树强,落叶松更新幼树较白桦更新幼树明显。白桦更新幼树对形成落叶松枯立木无显著影响(表5),这可能与白桦萌芽更新有关,存在丛生白桦的缘故。受影响的枯立木主要是树种组成成数高、枯立木株数中所占比例高的树种(表5、表1)。而影响枯立木出现位置的林木主要取决于其数量和位置,也就是其样方内(5 m 范围内)的林木株数和位置关系等。枯立木出现位置主要在大树和更新幼树集聚区域。另外,林木聚集程度越高,则容易形成枯立木(表2、表3、图2标准地1~7)。如标准地1大树和更新幼树数量相当,但之所以更新幼树影响枯立木位置是更新幼树主要分布与枯立木周围(图2)。

表5 枯立木坐标与更新幼树和大树坐标的相关系数

标准地号	枯立木	变量	$R^2$	$P$	$N$
1	落叶松	落叶松更新幼树	0.271 *	0.018	76
3	白桦	白桦更新幼树	0.727 **	0.000	38
	白桦	白桦大树	0.519 **	0.001	38
	落叶松	落叶松大树	0.739 *	0.036	8
4	白桦	落叶松大树	0.534 *	0.049	14
5	白桦	落叶松大树	0.642 **	0.007	16
6	白桦	落叶松更新幼树	0.611 **	0.004	20
	落叶松	落叶松更新幼树	0.487 **	0.000	198
	落叶松	白桦大树	0.365 **	0.000	198
	落叶松	落叶松大树	-0.310 **	0.000	198

## 4 结论与讨论

本研究发现,兴安落叶松过伐林的枯立木主要形成于更新幼树阶段。各树种枯立木比例,随树种组成成数增加而增大。枯立木径级分布主要集中在4径阶以下,但随着林龄增加,枯立木形成径阶幅度可能将变宽。8块标准地4径阶以下枯立木株数占总数的比例为41.5%~100%,平均达82.2%。在更新幼树(含枯立木)中,生成枯立木的比例平均达8.8%。

枯立木分布格局均表现为聚集分布。根据相关性分析结果,林木分布格局对枯立木格局无显著影响。但与枯立木株数有显著正相关关系。林木分布格局聚集度越大,形成枯立木的可能性越大,枯立木数量就越多。样方全株数和更新株数与枯立木株数呈正相关关系。随着林龄增加,林分密度和聚集系数也将发生变化。

枯立木位置与更新幼树和大树位置有显著的相关关系。主要表现为落叶松和白桦相互关系。枯立木出现位置主要在大树和更新幼树集聚区域。大树对枯立木形成影响较更新幼树大,两者均以落叶松影响较白桦明显。而白桦更新幼树对落叶松枯立木的形成,无显著影响。受影响的枯立木主要为枯立木株数中所占比例和树种组成成数较高的树种。而影响枯立木位置的林木主要取决于其数量和位置,也就是其样方内(5 m 范围内)的林木株数和位置关系。

过伐林枯立木数量和格局方面,与原始林和次生林有着明显不同的特点。由于现有掌握资料的有限,过去采伐等经营方式对枯立木形成的影响方面未能深入分析。本研究得出的4径阶以下枯立木株数比例与刘志华等<sup>[19]</sup>和王飞等<sup>[12]</sup>的研究结果不同,是由林分起源和龄级以及对枯立木的定义和起测胸径的不同导致。在今后经营中,可以考虑将8.8%比例的更新幼树进行间伐,促进更新幼树生长。枯立木与林隙更新有着密切关系<sup>[24]</sup>。形成枯立木是林分自然稀疏和结构自然优化的必然过程。以往研究主要集中在枯立木基本特征方面,但缺乏对枯立木格局形成机制等关键研究。本文重点分析了林木分布格局、标准地样方内的林木株数对枯立木形成的影响机制,探讨了大树和更新幼树位置与枯立木出现位置的相互关系。这对目标树经营、精细化管理、林分结构优化以及抚育经营具有很好的

参考意义。但在不同林龄阶段其枯立木格局和数量将如何变化,需要今后深入研究。同时,枯立木位置可能还与林木距离有关,与大树距离达到多少时将会出现枯立木,在5 m范围内的林木株数增加到多少时更易形成枯立木等,尚需深入研究。

### 参考文献:

- [1] 唐旭利,周国逸. 南亚热带典型森林演替类型粗死木质残体贮量及其对碳循环的潜在影响[J]. 植物生态学报, 2005, 29(4): 559-568.
- [2] Christopher M, Christoph S, Clare K, *et al.* Coarse woody debris an the carbon balance of a north temperate forest[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 244(1/3): 60-67.
- [3] Woldendorp G, Keenan R J. Coarse woody debris in Australian forest ecosystems a review[J]. *Austral Ecology*, 2005, 30: 834-843.
- [4] Bigler C, Veblen T. Changes in litter and dead wood loads following tree death beneath subalpine conifer species in northern Colorado [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2011, 41(2): 331-340.
- [5] Beets P N, Hood I A, Kimberley M O, *et al.* Coarse woody debris decay rates for seven indigenous tree species in the central North Island of New Zealand[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256: 548-557.
- [6] 何东进,何小娟,洪伟,等. 森林生态系统粗死木质残体的研究进展[J]. 林业科学研究, 2009, 22(5): 715-721.
- [7] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, *et al.* Ecology of coarse Wood debris in temperate ecosystems[J]. *Advances in Ecological Researches*, 1986, 15: 133-302.
- [8] Schlegel B C, Donoso P J. Effects of forest type and stand structure on Coarse Woody Debris in old-growth rainforests in the Valdivian Andes, south-central Chile[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 225: 1906-1914.
- [9] Brin A, Meredieu C, Piou D, *et al.* Changes in quantitative patterns of dead wood in maritime pine plantations over time[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256: 913-321.
- [10] Pesonen A, Leino O, Maltamo M, *et al.* Comparison of field sampling methods for assessing coarse woody debris and use of airborne laser scanning as auxiliary information [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257: 1532-1541.
- [11] 何帆,王得祥,张宋智,等. 小陇山林区主要森林群落凋落物及死木质残体储量[J]. 应用与环境生物学报, 2011, 17(1): 046-050.
- [12] 王飞,张秋良,王冰,等. 不同年龄杜松-兴安落叶松林粗木质残体贮量及特征[J]. 生态学报, 2012, 31(12): 2981-2989.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 金光泽,刘志理,蔡慧颖,等. 小兴安岭谷地云冷杉林粗木质残体的研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1256-1266.
- [16] 邓云,张文富,邓晓保,等. 西双版纳热带季节雨林粗木质物残体储量及其空间分布[J]. 生态学报, 2012, 31(2): 261-270.
- [17] 刘妍妍,金光泽. 地形对小兴安岭阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林粗木质残体分布的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1398-1407.
- [18] 刘妍妍,金光泽. 小兴安岭阔叶红松林粗木质残体基础特征[J]. 林业科学, 2010, 46(4): 8-14.
- [19] 刘志华,常禹,胡远满,等. 呼中林区与呼中自然保护区森林粗木质残体储量的比较[J]. 植物生态学报, 2009, 33(6): 1075-1083.
- [20] 张秋良,王飞,李小梅,等. 藓类-兴安落叶松林木质物残体贮量及组成[J]. 生态环境学报, 2013, 22(3): 437-442.
- [21] Webster C R, Jenkins M A. Coarse woody debris dynamics in the southern Appalachians as affected by topographic position and anthropogenic disturbance history [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 217: 319-330.
- [22] 惠刚盈, Klaus von Gadow, 胡艳波, 等. 结构化森林经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 114-120.
- [23] 韩铭哲. 兴安落叶松自然更新格局和种群的生态对策[J]. 内蒙古林学院学报, 1994, 1(2): 1-10.
- [24] 玉宝, 乌吉斯古楞, 王百田, 等. 大兴安岭兴安落叶松天然林林隙地被物变化特征研究[J]. 林业科学研究, 2009, 22(2): 213-218.