

兴安落叶松中幼龄过伐林林木空间格局对更新格局的影响

玉 宝¹, 张秋良², 王立明³, 萨如拉²

(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: 对兴安落叶松 *Larix gmelinii* 过伐林的林木相对坐标进行相关性分析后发现, 胸径 $D \geq 10$ cm 林木对更新位置和格局有显著影响。采用 6 种聚集度指标检验林分林木和更新幼树格局后均呈聚集分布。更新格局主要受林分林木和胸径 $D \geq 10$ cm 林木格局以及更新株数的影响。样方内的林木株数和其相互差异性, 确定了林木格局, 也影响了更新格局。兴安落叶松、白桦 *Betula platyphylla* 和山杨 *Populus davidiana* 3 者在更新格局的相互影响中, 前两者具有明显的规律, 尤其兴安落叶松对白桦更新的影响较普遍。胸径 $D \geq 10$ cm 兴安落叶松对白桦更新具有促进作用。而 $D \geq 10$ cm 白桦对兴安落叶松的更新有抑制作用。在更新层中, 由上而下白桦、兴安落叶松和山杨以垂直阶梯性分布。平均高占林分高的比例变化为: 13.7%~75.0%, 12.8%~72.8%, 27.8%~61.9%。在今后经营中, 将空间格局向随机分布调整, 降低聚集系数。可通过调整 $D \geq 10$ cm 林木负二项参数来调控林分更新格局。参照 $D \geq 10$ cm 林木位置, 掀开凋落物层, 露出土壤, 进行人工辅助更新。人工补植时, 考虑 $D \geq 10$ cm 林木位置和格局, 选择凋落物较厚, 种子难以接触土壤的地点作为补植位置, 与潜在天然更新能力的位置避免重叠, 节省成本, 有效促进林分更新, 使林分结构更趋合理性。图 1 表 6 参 15

关键词: 森林生态学; 兴安落叶松; 过伐林; 林木空间格局; 更新格局

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)03-0346-07

Distribution pattern for regeneration of a middle to young cut-over *Larix gmelinii* forest

YU Bao¹, ZHANG Qiuliang², WANG Liming³, SA Rula²

(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 Kinds of China, Beijing 102202, China)

Abstract: Update the location and scope as determined in the young stand Daxingan Mountains Xingan Larch and birch mixed forest over cutting and replanting measures more science, discusses the relationship between the regeneration pattern, location update and location in the tree. Cut-over forests of *Larix gmelinii* (larch), *Betula platyphylla* (birch), and *Populus davidiana* (poplar) were used with six aggregated indexes in test stands. Distribution of regeneration patterns was also aggregated. A correlation analysis of relative coordinates for diameter $D \geq 10$ cm was conducted. Results showed that the *L. gmelinii* forest with $D \geq 10$ cm was significantly correlated (correlation coefficient was $-0.564-0.895$, $P = 0.000-0.036$) to regeneration location and pattern. The regeneration pattern was also affected by stand structure, the types of trees in the quadrats, and their mutual differences. Larch with $D \geq 10$ cm accelerated regeneration of Japanese white birch; whereas, Japanese

收稿日期: 2014-09-09; 修回日期: 2014-10-26

基金项目: 国家林业局林业公益性行业科研专项(201204101-02); “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD22B0204)

作者简介: 玉宝, 副研究员, 博士后, 从事森林培育理论与技术、生态学理论与生态控制技术研究。E-mail: nmlyb8@sina.com。通信作者: 张秋良, 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

white birch with $D \geq 10$ cm inhibited regeneration of larch. Regeneration layers, from top to bottom, had a vertical ladder distribution with *B. platyphylla*, then *L. gmelinii*, and then *P. davidiana*. The average forest height changed as follows: 13.7% to 75.0% (birch), 12.8% to 72.8% (larch), and 27.8% to 61.9% (poplar). In the future, spatial patterns should be adjusted so the $D \geq 10$ cm parameter controls forest regeneration patterns, and for replanting so the $D \geq 10$ cm tree location and pattern choice, litter thickness, soil seed inaccessible locations as replanting position, and the position of potential natural regeneration avoid overlap thereby saving costs, promoting forest regeneration, and providing a more reasonable structure. [Ch, 1 fig. 6 tab. 15 ref.]

Key words: forest ecology; *Larix gmelinii*; cut-over forest; distribution pattern; regeneration pattern

天然更新是一种低投入高产出的森林培育方式^[1]。林下更新植被是维系整个森林生态系统植被多样性的重要组分^[2]。当前,越来越重视天然林结构与功能关系及结构优化的情况下,对更新机制与更新格局的研究已成焦点。从天然林更新中力求探索出规律,用于林分结构优化和近自然经营,这是目前亟待解决的课题之一。混交林更新除了立地和人为干扰之外,还受种间关系影响。徐鹤忠等^[3]认为:影响兴安落叶松 *Larix gmelinii* 有效更新株数的主要因子是土壤厚度、采伐类型和树种组成;兴安落叶松在树种组成中比例越大,更新株数越高。符婵娟等^[4]认为:植物天然更新受环境条件、自然干扰和人为干扰,以及更新树种的特性及其与周围树种的关系等影响。天然林大多幼苗和幼树集中生长在母树周围,呈集群分布特征^[5-6]。混交林的更新往往与纯林不同而且复杂得多,尤其过伐混交林更加复杂。毛磊等^[7]认为:樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* 天然林更新幼树分布与大树位置以及树种组成结构有关,其更新与阔叶树关系密切。樟子松阔叶树混交林更新情况明显优于樟子松纯林,且同一林分内阔叶树下的幼树更新情况明显优于樟子松大树下的幼树。天然樟子松针阔混交林下,樟子松幼树多分布在阔叶树周围 4 m 范围内。曾德慧等^[8]也认为:阔叶树下更新是樟子松林天然更新的主要形式之一。康冰等^[9]认为,在油松 *Pinus tabulaeformis* 次生林木本植物更新过程中,乔木和灌木母树的分布及结实率尤为重要。兴安落叶松天然更新的出苗更新频率在种子年当年可达到 60%,种源是决定天然更新的一个重要条件^[10]。更新幼树格局是研究林分演替、结构与功能的重要依据。如何相对确定落种更新位置和范围,人工补植位置是否合理等方面,仍须深入探讨更新格局、更新位置与大树位置的关系。兴安落叶松主要树种对更新相互影响研究基本空白。本研究以中幼龄兴安落叶松和白桦过伐混交林为研究对象,揭示不同结构过伐林更新的数量、垂直结构、分布格局、与胸径 $D \geq 10$ cm 林木分布的关系,为进一步研究过伐林演替规律,为过伐林人工辅助更新、结构调整提供理论依据和技术支撑。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古大兴安岭森林生态系统国家野外科学观测研究站(50°49'~50°51'N, 121°30'~121°31'E)。海拔为 800~1 100 m。属寒温带湿润气候区,年平均气温为 -5.4 °C,最低气温 -50.0 °C, ≥ 10 °C 积温为 1 403 °C;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,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* 为建群种的寒温带针叶林。伴生树种有白桦 *Betula platyphylla* 和山杨 *Populus davidiana* 等。林下主要有杜鹃 *Rhododendron dahuricum* 等灌木和红花鹿蹄草 *Pyrola incarnate*, 舞鹤草 *Maianthemum bifolium* 等草本植物。

20 世纪 50 年代成立了内蒙古根河林业局。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,作业面积为 150 hm² 左右。林型为杜鹃-兴安落叶松、杜香 *Ledum palustre*-兴安落叶松和草类-落叶松林交错分布。伐前林龄为 120~180 a,蓄积量 80~120 m³·hm⁻²,郁闭度 0.2~0.4,上层母树群团状分布,更新密度为 1 500~2 400 株·hm⁻²,幼树年龄 5~15 a,幼龄林组成 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),面积为 20 m × 30 m, 30 m × 30 m, 40 m × 40 m 等,进行每木检尺。调查标准地内更新树种(胸径 $D < 5$ cm)的高度、分布格局以及每种株数等。将标准地按 5 m × 5 m 进行

网格化, 分割成若干个小样方, 上述3种面积的标准地相对地被划分为24, 36, 64个样方。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 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(C_A)等6种聚集度指标的方法共同检验^[11], 求算林木空间格局。用Excel软件对数据进行计算及处理。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。

依据大于平均木的林木比小于平均木的林木的结实率要大得多^[12]的原则, 选择影响林分更新的对象。8块标准地林分平均胸径 $D=8.1\sim 13.6$ cm。其林分、白桦、落叶松和山杨平均胸径分别为: 10.8, 11.4, 10.5, 13.5 cm。同时考虑 $D\geq 10.0$ cm中龄林木具有结实量大、丰产的可能性高, 所以选择大于等于林分平均胸径 $D\geq 10.0$ cm的兴安落叶松、 $D\geq 10.0$ cm的白桦和 $D\geq 10.0$ cm的山杨, 对其相对坐标与更新幼树相对坐标进行双变量相关性分析, 采用Pearson相关系数, 进行双侧显著性检验。具体方法: 将兴安落叶松、白桦和山杨幼树的坐标(x, y)分别与 $D\geq 10.0$ cm落叶松、 $D\geq 10.0$ cm白桦和 $D\geq 10.0$ cm山杨的坐标(x, y)进行相关性分析。变量1数值是由幼树横坐标和纵坐标组成, 变量2数值是由 $D\geq 10$ cm林木横坐标和纵坐标组成。

表1 标准地基本情况

Table 1 Condition of sample plots

标准地号	面积/ (m×m)	平均胸径/cm				林分 高/m	密度/ (株·hm ⁻²)	树种组成	更新密度/ (株·hm ⁻²)	更新树种比例/%			$D\geq 10$ cm 株数
		林分	白桦	兴安落叶松	山杨					兴安落叶松	白桦	山杨	
1	30×30	13.6	14.7	12.3	17.0	13.2	1 433	5 落 3 桦 2 杨	1 256	49.6	31.0	19.5	71
2	40×40	10.8	11.1	8.0	16.5	9.9	1 019	9 桦 1 落+杨	3 675	20.7	76.6	2.7	77
3	40×40	8.1	7.6	9.0	7.2	9.4	1 994	6 桦 4 落+杨	4 788	36.5	62.2	1.4	50
4	40×40	10.4	12.2	9.2	15.1	10.9	2 238	5 落 5 桦-杨	2 925	59.0	39.3	1.7	135
5	20×30	9.1	7.6	12.7	7.3	10.5	1 983	5 桦 5 落+杨	3 150	27.3	71.6	1.1	23
6	40×40	9.6	11.5	8.8	13.7	10.7	2 775	7 落 3 桦+杨	3 713	92.7	7.1	0.2	144
7	40×40	12.0	12.9	11.3	15.8	10.9	1 750	6 落 3 桦 1 杨	1 475	46.8	35.9	17.3	143
8	40×40	12.8	13.7	12.4	15.1	12.1	1 425	7 落 3 桦+杨	1 069	14.1	72.9	12.9	151

说明: “+”表示这一树种蓄积量不足林分总蓄积量的5%, 但大于2%; “-”表示这一树种蓄积量少于林分总蓄积量的2%。

3 结果与分析

3.1 更新垂直分布

更新树种主要是兴安落叶松、白桦和山杨等3种。各标准地更新密度、更新幼树株数比例有较大差异。更新幼树株数与树种组成直接有关。随着各树种在树种组成中的成数增加, 其更新株数比例也增加(表1), 这与种源有关。但8号标准地尽管白桦成数不高, 但其更新株数比例较高。这主要是林分整体更新较差, 与林分结构有关系。

在林分更新层中, 由上而下垂直分布分别为白桦、兴安落叶松和山杨, 更新高度具有明显阶梯性。白桦、兴安落叶松和山杨幼树平均树高占林分高的比例最高分别达75.0%, 72.8%和61.9%; 最低分别达13.7%, 12.8%和27.8%(图1)。山杨幼树的树高变动范围较小, 其最高树高低于兴安落叶松和白桦, 而最低高度较兴安落叶松和白桦高(图1)。3种树种的生态学和生物学特征导致了更新垂直格局。白桦和山杨高生长较落叶松明显快。但山杨属于阳性树种, 在光照不足情况下更新生长较差。而兴安落叶松在更新阶

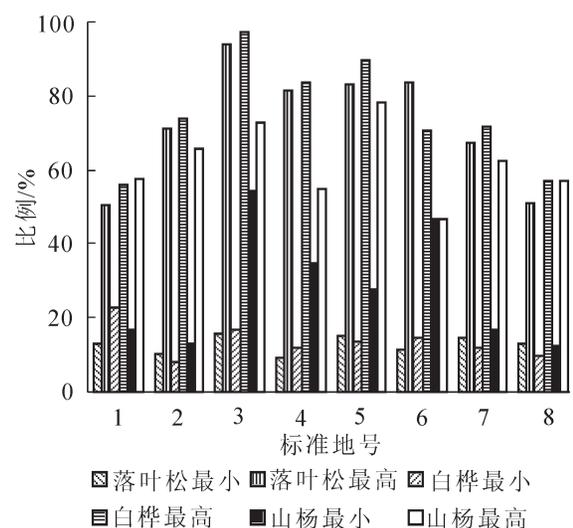


图1 各标准地不同幼树树高占林分平均高比例
Figure 1 Percent of different regeneration species height and stand average height

段要求一定的庇荫条件^[5], 耐阴性较好, 保持良好的生存能力。

3.2 更新格局

8 块标准地林分林木和更新幼树总体分布格局均呈聚集分布(表 2)。林分林木和各更新树种分布格局表现相对一致。其中, 兴安落叶松和白桦更新幼树格局均为聚集分布。而 5 号标准地和 6 号标准地山杨更新幼树呈均匀分布, 主要原因是这 2 块标准地山杨更新幼树很少, 分别仅 2 株和 1 株(表 3)。

林分林木和更新幼树格局参数具有相关性, 林分林木 $V\bar{x}$, \bar{M} , \bar{M}/M , I , C_A 等 5 个参数与更新幼树 $V\bar{x}$, \bar{M} 和 I 等 3 个参数呈正相关(表 4)。尤其更新幼树 $V\bar{x}$ 和 I 等 2 个指标与林分 5 个指标均有相关性。原因是林分林木整体格局包含了更新幼树的格局, 在各个样方内的林木株数和其相互差异性确定了林木格局, 也影响了更新幼树的格局。林分更新密度与林分林木和更新幼树的格局有相关关系, 与更新幼树 $V\bar{x}$, \bar{M} 和 I 等 3 个指标和林分 \bar{M} 指标均呈正相关(表 5)。说明, 更新幼树的格局不仅受林分更新株数影响, 也受林木格局的影响。 $V\bar{x}$, \bar{M} 和 I 等指标计算公式中均含有林木的平均株数和方差 2 个关键因子。当更新幼树株数增加时, 这 2 个因子的数值也随之变化。

表 2 各标准地林分林木和更新幼树空间格局

Table 2 Horizontal patterns of stand and regeneration of 8 control plots

标准地号	项目	空间格局参数					空间格局	
		$V\bar{x}$	\bar{M}	\bar{M}/M	I	C_A		
1	林分林木	2.29	9.15	1.16	1.29	6.09	0.16	聚集分布
	更新幼树	2.23	4.37	1.39	1.23	2.55	0.39	聚集分布
2	林分林木	4.56	15.73	1.29	3.56	3.42	0.29	聚集分布
	更新幼树	5.65	13.84	1.51	4.65	1.98	0.51	聚集分布
3	林分林木	3.96	20.62	1.17	2.96	5.95	0.17	聚集分布
	更新幼树	3.90	14.86	1.24	2.90	4.13	0.24	聚集分布
4	林分林木	3.43	15.55	1.19	2.43	5.40	0.19	聚集分布
	更新幼树	3.53	9.84	1.35	2.53	2.89	0.35	聚集分布
5	林分林木	2.58	14.83	1.12	1.58	8.39	0.12	聚集分布
	更新幼树	3.58	10.46	1.33	2.58	3.05	0.33	聚集分布
6	林分林木	7.74	24.65	1.38	6.74	2.66	0.38	聚集分布
	更新幼树	6.12	14.40	1.55	5.12	1.81	0.55	聚集分布
7	林分林木	2.48	9.83	1.18	1.48	5.66	0.18	聚集分布
	更新幼树	1.84	4.51	1.23	0.84	4.38	0.23	聚集分布
8	林分林木	1.61	7.01	1.09	0.61	10.53	0.09	聚集分布
	更新幼树	2.98	4.65	1.74	1.98	1.35	0.74	聚集分布

3.3 与胸径 $D \geq 10$ cm 林木关系

林下更新位置和格局受胸径 $D \geq 10$ cm 林木影响(表 6)。更新幼树与 $D \geq 10$ cm 林木位置的相关关系在 8 块标准地中均有所体现(表 6)。其中, $D \geq 10$ cm 兴安落叶松和白桦更新位置关系较普遍, 共有 7 块标准地。2 号标准地是白桦纯林, 不存在两者相关关系。 $D \geq 10$ cm 落叶松与兴安落叶松、山杨更新位置有相关关系的标准地数分别为: 3 块和 1 块。 $D \geq 10$ cm 白桦与兴安落叶松、白桦、山杨更新位置相关关系的标准地数分别为: 3, 2 和 1 块。 $D \geq 10$ cm 山杨与落叶松更新位置有相关关系的标准地仅有 2 块, 与白桦和山杨更新位置无相关关系(表 6), 这是在树种组成中杨树成数较少的缘故(表 1)。兴安落叶松以种子更新为主, 而白桦萌生枝条比较多^[3]。从相关性分析结果看, $D \geq 10$ cm 兴安落叶松与兴安落叶松更新位置有正相关也有负相关关系, 如标 6 号标准地和 7 号标准地呈正相关, 而 1 号标准地呈负相关, 这可能与样本数量少有关。1 号标准地更新密度较小, 且兴安落叶松比例仅 49.2%(表 1), $D \geq 10$ cm 兴安落叶松株数仅 27 株, 种内关系表现可能还与距离有关系。而 $D \geq 10$ cm 白桦与白桦更新位置呈正相关, 如 2 号标准地和 4 号标准地, 这是与白桦萌芽更新有关系。 $D \geq 10$ cm 白桦与兴安落叶松更新位置呈负相关, 如 2 号标准地、6 号标准地、7 号标准地, 白桦萌生枝条影响落叶松种子接触土壤, 阻碍落叶松的更新。反之, $D \geq 10$ cm 兴安落叶松与白桦更新位置呈正相关为主, 如 1 号标准地、4 号

表3 各标准地不同更新幼树空间格局

Table 3 Horizontal patterns of different regeneration species of 8 control plots

标准地号	树种	空间格局参数						空间格局
		V/\bar{x}	\bar{M}	\bar{M}/M	I	K	C_A	
1	兴安落叶松	1.98	2.54	1.63	0.98	1.59	0.63	聚集分布
	白桦	2.48	2.46	2.53	1.48	0.65	1.53	聚集分布
	山杨	4.30	3.91	6.40	3.30	0.19	5.40	聚集分布
2	兴安落叶松	5.62	6.43	3.55	4.62	0.39	2.55	聚集分布
	白桦	5.63	11.35	1.69	4.63	1.45	0.69	聚集分布
	山杨	1.70	0.93	3.98	0.70	0.34	2.98	聚集分布
3	兴安落叶松	4.59	7.35	1.95	3.59	1.05	0.95	聚集分布
	白桦	2.82	8.24	1.28	1.82	3.54	0.28	聚集分布
	山杨	2.41	1.56	11.06	1.41	0.10	10.06	聚集分布
4	兴安落叶松	2.10	5.37	1.26	1.10	3.86	0.26	聚集分布
	白桦	5.71	7.55	2.65	4.71	0.60	1.65	聚集分布
	山杨	7.88	7.00	56.00	6.88	0.02	55.00	聚集分布
5	兴安落叶松	3.12	4.20	2.02	2.12	0.98	1.02	聚集分布
	白桦	3.77	8.23	1.51	2.77	1.97	0.51	聚集分布
	山杨	0.92	0.00	0.00	-0.08	-1.00	-1.00	均匀分布
6	兴安落叶松	6.64	14.24	1.66	5.64	1.52	0.66	聚集分布
	白桦	2.53	2.19	3.34	1.53	0.43	2.34	聚集分布
	山杨	0.98	0.00	0.00	-0.02	-1.00	-1.00	均匀分布
7	兴安落叶松	2.78	3.46	2.05	1.78	0.95	1.05	聚集分布
	白桦	2.35	2.65	2.04	1.35	0.96	1.04	聚集分布
	山杨	1.53	1.15	1.84	0.53	1.19	0.84	聚集分布
8	兴安落叶松	1.63	1.00	2.67	0.63	0.60	1.67	聚集分布
	白桦	3.01	3.95	2.04	2.01	0.96	1.04	聚集分布
	山杨	1.57	0.91	2.64	0.57	0.61	1.64	聚集分布

标准地、5号标准地、6号标准地、7号标准地和8号标准地。但3号标准地的 $D \geq 10$ cm兴安落叶松与白桦更新位置呈负相关，这与更新密度较大且以白桦为主，而 $D \geq 10$ cm林木数量少(兴安落叶松仅32株,表1)，因此两者距离范围可能影响了相关关系。兴安落叶松种子具有一定飞散能力^[5,12-13]，一定程度上具有更新位置的不确定性和灵活性的特点，这对白桦的更新腾出缝隙，有利于其萌芽。因此， $D \geq 10$ cm兴安落叶松对白桦更新具有促进和庇护的作用。

$D \geq 10$ cm林木格局一定程度上也影响更新幼树分布格局。经 $D \geq 10$ cm林木与更新幼树6种空间格局参数的相关性分析， $D \geq 10$ cm林木 K 指标与更新幼树的 V/\bar{x} 和 I 等2个格局指标呈正相关关系，均在0.05水平上显著($R^2=0.735$, $P=0.038$)。而其他分布格局指标无显著相关关系。说明， $D \geq 10$ cm林木数量及其样方间株数差异也将影响更新幼树格局。

4 讨论

更新格局将决定未来林分树种组成、年龄、演替、

表4 林分林木与更新幼树空间格局参数相关性分析

Table 4 Horizontal patterns of stand and regeneration trees of correlation coefficients

林分林木	更新幼树	R^2	P	N
V/\bar{x}	V/\bar{x}	0.861**	0.006	8
V/\bar{x}	\bar{M}	0.762*	0.028	8
V/\bar{x}	I	0.861**	0.006	8
\bar{M}	V/\bar{x}	0.792*	0.019	8
\bar{M}	\bar{M}	0.916**	0.001	8
\bar{M}	I	0.792*	0.019	8
\bar{M}/M	V/\bar{x}	0.799*	0.017	8
\bar{M}/M	I	0.799*	0.017	8
I	V/\bar{x}	0.861**	0.006	8
I	\bar{M}	0.762*	0.028	8
I	I	0.861**	0.006	8
C_A	V/\bar{x}	0.799*	0.017	8
C_A	I	0.799*	0.017	8

说明：*表示0.05水平上显著，**表示0.01水平上显著， N 表示标准地数。

林相等林分结构，也涉及到林分功能发挥。本研究表明：兴安落叶松中幼龄过伐林的林分林木和更新幼树分布格局均呈聚集分布。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他植物种竞争的能力^[5]。林分聚集分布有利于林分更新^[14]。在林分更新层，由上而下垂直分布分别为白桦、兴安落叶松和山杨，更新高度具有明显阶梯性。利用各树种生物学和生态学特性，优化格局可提高垂直空间的利用率。尽管本研究对林分种子年等情况未进行连续观测，但从更新幼树位置来判断，与 $D \geq 10$ cm 林木位置、分布格局等有紧密关系。更新幼树的格局不仅受林分更新株数影响，也受林木格局的影响。各样方内林木平均株数和其差异性直接影响林木格局。兴安落叶松、白桦和山杨种间关系中，兴安落叶松和白桦相互影响明显，尤其兴安落叶松对白桦更新的影响较突出。但两者对更新格局的相互影响完全不同。 $D \geq 10$ cm 白桦对兴安落叶松的更新有抑制作用，而 $D \geq 10$ cm 兴安落叶松对白桦更新具有促进作用。种间关系影响可能与距离范围有关系，这一方面需进一步探讨。

在今后的过伐林的经营中，应将空间格局向随机分布调整，降低聚集系数。可通过调整 $D \geq 10$ cm 林木格局来调控更新格局，优化林分结构，尤其调整空间格局 K 指标来控制林分更新格局等。但本研究难以揭示林木格局与林龄关系以及林分更新相对年龄机制，需要进一步深入研究。人工辅助更新时，考虑 $D \geq 10$ cm 林木位置，距其 10 m 范围的样方中央设 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的小样方掀开枯枝落叶层，以便种子接触土壤。人工补植时，补植位置是关键，应灵活布置，可见缝插针。必须考虑 $D \geq 10$ cm 林木位置和格局，尽量选择枯枝落叶层较厚，林木种子难以接触土壤的地点（如离 $D \geq 10$ cm 林木距离 > 10 m 时），避免与具有潜在天然更新能力的位置范围要重叠。把天然更新、人工辅助更新和人工补植有机结合，调控林分结构，节省成本有效促进林分更新。

采伐方式对更新有影响^[3,15]。择伐强度不同，幼树幼苗集聚程度呈不同的变化趋势。不同种群在不

表 5 更新密度与林分林木、更新幼树空间格局相关性分析

Table 5 Correlation coefficients regeneration density and horizontal patterns of stand and stand regeneration

项目	幼树空间格局指标			林分林木空间格局指标
	V/\bar{x}	\bar{M}	I	\bar{M}
R^2	0.717*	0.973**	0.717*	0.888**
P	0.045	0.000	0.045	0.003
N	8	8	8	8

说明：* 表示 0.05 水平上显著，** 表示 0.01 水平上显著。 N 表示标准地数。

表 6 $D \geq 10$ cm 林木与更新幼树位置相关性分析

Table 6 Correlation coefficients $D \geq 10$ cm trees and regeneration trees seat

标准地号	$D \geq 10$ cm 林木	更新幼树	R^2	P	N
1	兴安落叶松	兴安落叶松	-0.268*	0.023	72
	兴安落叶松	白桦	0.534**	0.000	70
2	白桦	兴安落叶松	-0.411**	0.000	138
	白桦	山杨	0.430*	0.018	30
	白桦	白桦	0.300**	0.000	138
3	兴安落叶松	白桦	-0.306*	0.014	64
4	白桦	白桦	0.391**	0.000	136
	兴安落叶松	白桦	0.431**	0.000	130
	兴安落叶松	山杨	0.895**	0.000	16
5	兴安落叶松	白桦	0.787**	0.000	28
6	兴安落叶松	兴安落叶松	0.338**	0.000	168
	山杨	兴安落叶松	0.841*	0.036	6
	兴安落叶松	白桦	0.346**	0.001	84
7	白桦	兴安落叶松	-0.290**	0.002	114
	兴安落叶松	兴安落叶松	0.320**	0.000	176
	山杨	兴安落叶松	-0.564*	0.023	16
8	兴安落叶松	白桦	0.643**	0.000	166
	白桦	兴安落叶松	-0.325**	0.002	92
	兴安落叶松	白桦	0.507**	0.000	208

说明：* 表示 0.05 水平上显著，** 表示 0.01 水平上显著， N 表示 $D \geq 10$ cm 林木株数。

同强度的择伐标准地集聚程度表现不同^[6]。本研究缺乏过伐林过去经营方式和措施资料,对过去的采伐经营对更新的影响未进行分析,有待于深入研究。

5 参考文献

- [1] MOKTAN M R, GRATZER G, RICHARDS W H, *et al.* Regeneration of mixed conifer forests under group tree selection harvest management in western Bhutan Himalayas [J]. *For Ecol Manage*, 2009, **257**(10): 2121 – 2132.
- [2] D'AMATO A W, ORWIG D A, FOSTER D R, *et al.* Understory vegetation in old-growth and second-growth *Tsuga canadensis* forests in western Massachusetts [J]. *For Ecol Manage*, 2009, **257**(3): 1043 – 1052.
- [3] 徐鹤忠,董和利,底国旗,等.大兴安岭采伐迹地主要目的树种的天然更新[J].东北林业大学学报,2006, **34**(1): 18 – 21.
XU Hezhong, DONG Heli, DI Guoqi, *et al.* Natural regeneration of main tree species in deforested lands in Daxing'an Mountains [J]. *J Northeast For Univ*, 2006, **34**(1): 18 – 21.
- [4] 符婵娟,刘艳红,赵本元.神农架巴山冷杉群落更新特点及影响因素[J].生态学报,2009, **29**(8): 4179 – 4186.
FU Chanjuan, LIU Yanhong, ZHAO Benyuan. Regeneration characteristics and influencing factors of *Abies fargesii* forests in Shennongjia National Nature Reserve [J]. *Acta Ecol Sin*, 2009, **29**(8): 4179 – 4186.
- [5] 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.
HAN Mingzhe. A study on the patterns of natural regeneration and ecological strategy of dhurian larch population [J]. *J Inner Mongolia For Coll*, 1994, **1**(2): 1 – 10.
- [6] 郑丽凤,周新年,罗积长,等.择伐强度对天然针阔混交林更新格局的影响[J].福建林学院学报,2008, **28**(4): 310 – 313.
ZHENG Lifeng, ZHOU Xinnian, LUO Jichang, *et al.* Effects of selective intensity on regeneration pattern of natural mixed stand of conifer and broad-leaved trees [J]. *J Fujian Coll For*, 2008, **28**(4): 310 – 313.
- [7] 毛磊,王冬梅,杨晓晖,等.樟子松幼树在不同林分结构中的空间分布及其更新分析[J].北京林业大学学报,2008, **30**(6): 71 – 77.
MAO Lei, WANG Dongmei, YANG Xiaohui, *et al.* Spatial patterns of young *Pinus sylvestris* var. *mongolica* saplings and their regeneration analysis in different stands of Inner Mongolia, northern China [J]. *J Beijing For Univ*, 2008, **30**(6): 71 – 77.
- [8] 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**(1): 1 – 5.
ZENG Dehui, YOU Wenzhong, FAN Zhiping, *et al.* Natural regeneration of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation on sand land [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13**(1): 1 – 5.
- [9] 康冰,王得祥,崔宏安,等.秦岭山地油松群落更新特征及影响因子[J].应用生态学报,2011, **22**(7): 1659 – 1667.
KANG Bing, WANG Dexiang, CUI Hongan, *et al.* Regeneration characteristics and related affecting factors of *Pinus tabulaeformis* secondary forests in Qinling Mountains [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2011, **22**(7): 1659 – 1667.
- [10] 徐振邦,陈华,陈涛,等.促进兴安落叶松天然更新的出苗条件研究[J].应用生态学报,1994, **5**(2): 120 – 125.
XU Zhenbang, CHEN Hua, CHEN Tao, *et al.* Germination condition of assisting *Larix gmelinii* natural regeneration [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1994, **5**(2): 120 – 125.
- [11] 惠刚盈, GADOW Klausvon, 胡艳波,等.结构化森林经营[M].北京:中国林业出版社,2007: 114 – 120.
- [12] 罗菊春.兴安落叶松的结实特性[J].北京林学院学报,1979, **1**(1): 40 – 54.
LUO Juchun. Fruit characteristics of *Larix gmelinii* [J]. *J Beijing For Coll*, **1**(1): 40 – 54.
- [13] 徐振邦,陈华,陈涛,等.兴安落叶松的结实及其与短枝年龄结构的关系[J].应用生态学报,1993, **4**(3): 234 – 240.
XU Zhenbang, CHEN Hua, CHEN Tao, *et al.* Fruit age of *Larix gmelinii* and its relation to age structure of short branches [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1993, **4**(3): 234 – 240.
- [14] 玉宝,乌吉斯古楞,王百田,等.兴安落叶松天然林2种林型林分更新特征[J].林业资源管理,2009(6): 64 – 69.
YU Bao, WU Jisiguleng, WANG Baitian, *et al.* Characteristics of stand regeneration of two forest types in natural *Larix gmelinii* rorest [J]. *For Resour Manage*, 2009(6): 64 – 69.
- [15] 韩景军,肖文发,罗菊春.不同采伐方式对云冷杉林更新与生境的影响[J].林业科学,2000, **36**(专1): 90 – 96.
HAN Jingjun, XIAO Wenfa, LUO Juchun. Effects of different cutting methods on regeneration and habitat for spruce fir forests [J]. *Sci Silv Sin*, 2000, **36**(supp 1): 90 – 96.