

大兴安岭兴安落叶松天然林结构特征¹⁾

雷娜庆 刘洋 萨如拉 铁牛

(内蒙古农业大学 呼和浩特 010019)

摘要 以大兴安岭兴安落叶松天然林为研究对象,利用固定样地调查数据,研究其结构特征。结果显示:(1)林分整体的直径分布为倒“J”型,6径阶株数最多,Exp3P2函数可以很好的拟合兴安落叶松的直径分布;(2)林分树高分布为单峰偏左曲线,树高8级时,株数最多,柯列尔函数拟合兴安落叶松树高分布精度高;(3)兴安落叶松树高随胸径增大而增加,可以用Wykoff方程表示其相关性;(4)兴安落叶松的胸径与冠幅为正相关关系,Monomolecular函数拟合结果良好;(5)林分平均角尺度0.485,林分呈现随机分布格局;(6)用胸径、树高和冠幅3个指标计算林分平均大小比数均呈现中庸状态;(7)林分平均混交度0.327,属于弱度混交,表明该地区为典型的兴安落叶松天然林。

关键词 兴安落叶松;天然林;林分结构;大兴安岭
分类号 S758.5

Structure Characteristics of *Larix gmelinii* Natural Forest in Daxing'an Mountains//Lei Naqing, Liu Yang, Sa Rula, Tie Niu(Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, P. R. China) //Journal of Northeast Forestry University 2017 45(3): 8-12.

We studied the structure characteristics of *Larix gmelinii* natural forest in Daxing'an Mountains with fixed sample plot every wood positioning survey data. The results showed that: ①The distribution of diameter is wholly inverted "J" type. The number of tree is most when diameter class is 6. Exp3P2 function can be a good fit model for *Larix gmelinii* diameter distribution. ②The structure of tree height is unimodal distribution curve, and the number of tree is most when tree height is 8 class. The fitting precision of Clare function for *L. gmelinii* height is best. ③The *L. gmelinii* tree height increases with the increase of its diameter, and this correlation can be expressed in Wykoff equation. ④There is a positive correlation between *L. gmelinii* diameter at breast height and canopy. The fitting results of Monomolecular function is better. ⑤The average angular dimension of trees is 0.515, and the trees is with randomly distribution pattern. ⑥The average stand size is middle when calculated by diameter at breast height, height and canopy. ⑦The average rate of mingling for trees is 0.327 with weak degree mixed. Therefore, the study area is characterized by a typical natural forest for *L. gmelinii*.

Keywords *Larix gmelinii*; Natural forest; Stand structure; Daxing'an Mountains
DOI:10.13759/j.cnki.dlxb.2017.03.002

林分结构是指林分内林木个体的特征因子的排列方式,可分为空间结构和非空间结构^[1]。非空间结构有直径结构、树高结构、年龄结构等,是了解林分结构特征的最基本结构因子。空间结构是考虑了林木个体的空间位置,包括林分的分布格局、大小、树种混交等,可以分析林分的空间结构现状^[2]。合理的结构可以正向影响林分的生长、发育和将来的演替趋势,最终使林分最大限度的发挥功能。

内蒙古大兴安岭林区是我国重要的木材生产基地之一,对改善东北,乃至全国生态环境以及促进林区可持续发展有着举足轻重的作用。兴安落叶松(*Larix gmelinii*)是内蒙古大兴安岭林区最重要的建群种,其蓄积丰富、耐寒性高、适应性强,是该林区森林更新的主要树种^[3]。因此,对大兴安岭林区兴安落叶松天然林林分结构特征的深入研究具有重要的

生态意义^[4]。本文从直径结构和树高结构来研究兴安落叶松天然林的基本结构特征,利用模型拟合兴安落叶松胸径与树高和冠幅的相关性,反映兴安落叶松天然林的生长规律;并以角尺度、混交度和大小比数等空间结构参数分析兴安落叶松天然林的空间结构特征,旨在认识自然状态下兴安落叶松天然林的结构特征现状,分析形成的原因,探究其自然演替规律及生态系统将来的发展方向,从而为天然林保护和结构优化等经营措施提供合理的理论依据。

1 研究地区概况

研究地区位于大兴安岭西北坡的根河林业局潮查林场,地理坐标为121°30'~121°31'E,50°49'~50°51'N。海拔800~1100m,中山山地,土壤为棕色针叶林土;属寒温带大陆性季风气候,年降水量450~550mm,年平均气温-5.4℃,昼夜温差大,冬季寒冷漫长,夏季短暂且降水量多,生长季短。以兴安落叶松构成的针叶林为主要森林类型,伴生树种有白桦(*Embetula platyphllaem*)和山杨(*Empopulus davidi-anaem*)。林下植被主要有:杜鹃(*Rhododendron* sp.)、杜香(*Ledum palustre*)、越橘(*Vaccinium* sp.)、红

1) 国家自然科学基金项目(31360180);内蒙古自治区高等学校科学技术研究项目(NJZY13080)。

第一作者简介:雷娜庆,女,1990年6月生,内蒙古农业大学林学院,硕士研究生。E-mail:lnq0605@emails.imau.edu.cn。

通信作者:铁牛,内蒙古农业大学林学院,教授。E-mail:wang-tieniu@126.com。

收稿日期:2016年8月2日。

责任编辑:王广建。

花鹿蹄草(*Pyrola incarnata*)等。

2 研究方法

2.1 外野调查

2015年8月,经实地踏查,在无人为干扰的兴安落叶松天然林中,选择具有代表性的地段设置一块固定样地(50 m×210 m)。样地坡度13°,西南坡,平均海拔为820 m。将样地划分为105个小样地(10 m×10 m),进行每木检尺,记录树种名称、胸径、树高、第一枝下高、冠幅(东西×南北)、株数等。以样地东北角为坐标原点(0,0),以南方向为x轴,以西方向为y轴,对每木检尺的林木进行定位,并编号挂牌。记录样地的经纬度坐标和林分郁闭度等样地信息。为了消除处于林分边缘树木的系统影响,设置5 m缓冲区,缓冲区内林木只做相邻木处理^[5]。本研究树木的起测胸径为5.0 cm。

2.2 数据处理

直径结构:直径结构是指林分中的林木按径阶分配的状态,是最基本和最重要的林分结构。不仅便于测定,还是建立林分生长与收获模型的基础,与其他林分调查因子之间存在相关性^[6]。本研究中对胸径 $D \geq 5$ cm的数据,以2 cm为径阶建立数据库,并剔除白桦和山杨。选用Exp3P2($y = \exp(a + bt + ct^2)$)模型拟合天然兴安落叶松的直径分布。

树高结构:林分中不同树高林木的分配状态,称为林分树高结构,并且有一定的规律性。树高在编制林分密度控制图时,是必不可少的因子之一。研究中采用2 m为树高距,采用柯列尔($y = at^b \exp(-ct)$)模型拟合天然兴安落叶松的树高分布。

树高与胸径的关系:直径和树高之间通常具有生物学关系,它们既是林分的数量指标也是林分的质量指标,随林分生长均呈现一定的分布规律。以树高为纵坐标、胸径为横坐标绘制散点图,并依据散点的分布趋势,选用Wykoff($H = e^{(a+b/(D+1))}$)模型表达兴安落叶松树高与胸径之间的关系。

冠幅与胸径的关系:树冠是树木进行光合作用和转换物质能量的场所,林木冠幅的大小决定其生活力、生产力,同时是反映林木个体在生长过程中竞争水平的重要指标^[7]。本研究首先计算每株兴安落叶松的平均冠幅 $C_w = (\text{东西} + \text{南北}) / 4$,并建立胸径与冠幅的数据库,利用Monomolecular函数 $C_w = a [1 - \exp(-bD)]$ 来量化兴安落叶松冠幅与胸径的关系。

林分直径结构、树高结构、胸径与树高和胸径与冠幅的相关性的研究用spss 20.0、excel软件完成。

2.3 空间结构计算方法

本研究中采用含有空间结构信息的3种林木空

间结构参数,角尺度、大小比数、混交度来表达林分的空间结构状态^[8-10]。采用最近4株林木为最小、最优空间结构单元。运用Winkelmass软件完成空间结构计算。

角尺度(W_i):角尺度描述相邻木围绕参照树的均匀性,即林木个体在水平地面上的分布形式或空间分布格局。计算公式为:

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 Z_{ij}$$

式中:当j个a角小于标准角($a_0 = 72^\circ$)时 $Z_{ij} = 1$;反之 $Z_{ij} = 0$;当 W_i 取值分别为:0、0.25、0.50、0.75、1.00时,相应的表示绝对均匀、均匀、随机、不均匀、聚集。林分角尺度平均值(\bar{W}),计算公式为: $\bar{W} = (1/N) \sum W_i$,N为样地内林木总株数。

角尺度无需测量林木之间的距离,采用样线法,只调查样线上或距样线最近的角尺度即以获得到林木在林地上的分布格局信息^[11]。

大小比数(U_i):大小比数表明林木大小分化的程度,在一定程度上体现了林分中各树种的竞争关系^[12]。本文中采用胸径、树高和冠幅3个指标对兴安落叶松天然林的大小比数进行计算,公式为:

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 K_{ij}$$

式中:如果参照树i比相邻木j大时 $K_{ij} = 0$;否则 $K_{ij} = 1$ 。 U_i 取值分别为0、0.25、0.50、0.75、1.00时,相应的表示优势、亚优势、中庸、劣势和绝对劣势。林分平均大小比数(\bar{U}),计算公式为: $\bar{U} = (1/N) \sum U_i$,N为样地内林木总株数。

混交度(M_i):描述的是林分的树种组成和空间配置情况。 M_i 为参照树i的4株最近相邻木与参照树不属同种的个体所占的比例^[12],计算公式为:

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 u_{ij}$$

式中:当参照树i与第j株相邻木非同种时 $u_{ij} = 1$;否则 $u_{ij} = 0$ 。 M_i 取值分别为0、0.25、0.50、0.75、1.00时,分别表示零度混交、弱度混交、中度混交、强度混交、极强度混交。林分平均混交度(\bar{M})计算公式为: $\bar{M} = (1/N) \sum M_i$,N为样地内林木总株数。

3 结果与分析

3.1 直径结构

由表1、表2可知林分直径分布呈倒“J”型,分布特征随着径阶增长株数减少。胸径分布范围5~50 cm,林分在6径阶处林木个体株数最多,占总株树的25%,其次为8径阶;在8~16径阶时,白桦的株数多于兴安落叶松,原因是兴安落叶松在天然更

新时, 相对较小径阶的幼苗幼树的生长受到了光、养分等条件的抑制, 生长缓慢, 死亡率较高; 而白桦为先锋树种, 适应性较强, 小径阶株数较多, 但随后逐渐被代替^[13]。40 径阶以上植株数量相当少, 白桦和山杨更是零星分布。对林分中的兴安落叶松采用 Exp3P2 模型拟合直径分布 (见图 1), 表达式为 $y = \exp(6.509 - 0.247t + 0.003t^2)$ 绝对系数 $R^2 = 0.900$, $P = 0.261 > 0.05$, 拟合精度高。

表 1 样地树种数量特征

树种	林分密度/ 株·hm ⁻²	胸径(D)/cm		树高(H)/m		断面 积/m ²
		最大值	平均值	最大值	平均值	
林分	1 304	50.00	16.19	27.2	10.65	28.17
兴安落叶松	638	50.00	18.36	27.2	11.05	17.68
白桦	640	47.50	13.80	23.5	10.24	10.07
山杨	26	25.00	13.83	20.2	11.18	0.42

表 2 林分径阶分布

径阶/ cm	兴安落叶松密 度/株·hm ⁻²	白桦密度/ 株·hm ⁻²	山杨密度/ 株·hm ⁻²	林分密度/ 株·hm ⁻²
6	179	147	2	328
8	97	127	5	229
10	67	82	5	154
12	40	73	2	115
14	34	48	3	85
16	21	44	3	68
18	21	22	2	45
20	19	25	2	46
22	19	22	1	42
24	9	12	0	21
26	21	10	1	32
28	20	7	0	27
30	19	8	0	27
32	13	7	0	20
34	15	2	0	17
36	12	1	0	13
38	8	1	0	9
40	3	1	0	4
42	6	0	0	6
44	5	0	0	5
46	4	0	0	4
48	3	1	0	4
50	3	0	0	3

3.2 树高结构

兴安落叶松天然林林分树高分布范围从 2.3~27.2 m, 分布曲线为单峰偏左山状, 峰值在树高级为 8 时, 林分密度为 341 株·hm⁻², 两侧分布株树变小 (见表 3)。从整体上看兴安落叶松和白桦的树高结构基本相同, 不同的是在 6~10 m 树高级时, 白桦的密度大于兴安落叶松的密度; 而在 14~18 m 树高级时, 兴安落叶松密度大于白桦的密度, 在 26~28 m 树高级时, 只有兴安落叶松分布。这说明由于白桦相对于兴安落叶松来说寿命短不耐荫的特性, 在竞争中逐

渐淘汰, 退出主林层。而兴安落叶松更新能力较强, 逐渐取代白桦, 从而兴安落叶松占据更高的林层。从图 2 看出, 柯列尔模型可以很好的拟合兴安落叶松的树高分布, 结果为 $y = 0.515t4.711\exp(-0.535t)$, 其绝对系数 $R^2 = 0.834$, $P = 0.259 > 0.05$ 。

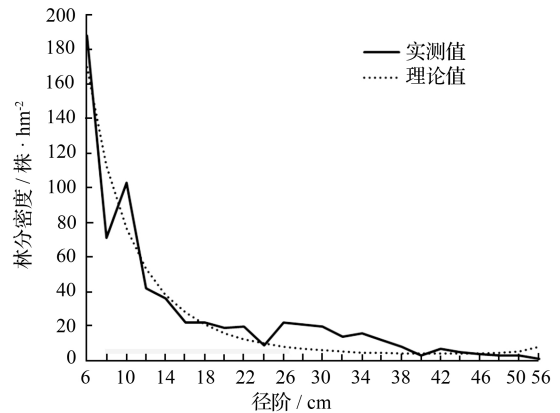


图 1 兴安落叶松 Exp3P2 直径分布理论值与实测值

表 3 林分树高分布

树高/ m	兴安落叶松密 度/株·hm ⁻²	白桦密度/ 株·hm ⁻²	山杨密度/ 株·hm ⁻²	林分密度/ 株·hm ⁻²
2	1	1	0	2
4	3	3	0	6
6	113	156	3	272
8	151	165	8	324
10	93	98	3	194
12	68	69	3	140
14	84	50	4	138
16	76	57	3	136
18	28	12	1	41
20	10	15	1	26
22	4	12	0	16
24	3	2	0	5
26	2	0	0	2
28	2	0	0	2

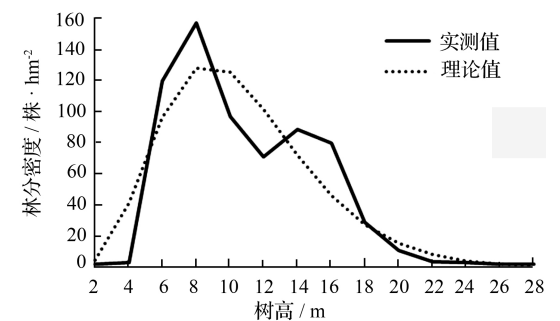


图 2 兴安落叶松柯列尔树高分布理论值与实测值

3.3 树高曲线

一般来说, 林分中林木胸径与树高之间为正相关关系, 为了解兴安落叶松天然林中兴安落叶松个体的树高与胸径的变化规律, 本研究选用 Wykoff 方程^[14]进行拟合, 拟合结果为: $H = e^{(3.013 - 7.419)/(D+1)}$, 绝对系数 $R^2 = 0.752$, $P = 0.237 > 0.05$ 。由图 3 可看出

Wykoff 树高曲线方程准确量化的反映了兴安落叶松树高随胸径的增大而增高的关系。

3.4 冠幅与胸径

树冠是树木生长发育的结构基础, 并影响林分中林木的分布、生长、干形、材质和生物量的重要因子之一^[15]。冠幅是树冠的重要结构特征因子之一, 与胸径之间存在紧密的相关性, 本研究选用 Monomolecular 函数拟合兴安落叶松的胸径与冠幅的相关性, 得 $C_w = 5.013 [1 - \exp(-0.39D)]$, $R^2 = 0.695$, $P = 0.236 > 0.05$, 拟合效果良好。由图 4 可看出, 兴安落叶松冠幅随胸径的变化而变化, 即林木胸径越大, 冠幅也越大。

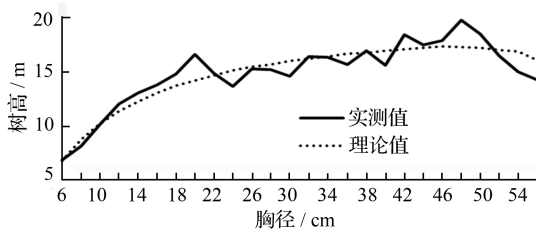


图 3 兴安落叶松 Wykoff 树高曲线理论值与实测值

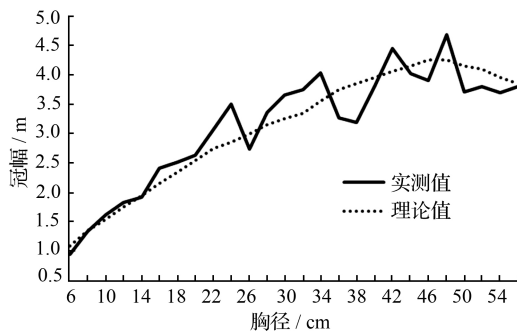


图 4 兴安落叶 Monomolecular 胸径与冠幅分布理论值与实测值

3.5 空间结构

3.5.1 角尺度

由表 4 可知, 林分平均角尺度 0.485, 角尺度为 0 和 0.25 的比例为 18.9%, 相邻木均匀的分布在参照树周围, 角尺度 0.25 的比例为 17.9%; 处于不均匀或聚集分布的比例分别为 25.6% 和 2.1%, 角尺度

小于 0.5 与大于 0.5 的分布频率大致相等, 但是角尺度大于 0.5 的比例稍高一些, 偏向轻度的聚集分布。处于随机分布的林木比例, 即 $W_i = 0.5$ 的比例为 53.4%, 且兴安落叶松、白桦的角尺度频率分布在 $W_i = 0.5$ 时最大, 山杨的角尺度频率分布在 $W_i = 0.25$ 时最大。由此表明, 群落中林木个体的最近 4 株相邻木均匀或聚集分布的极端状况的情况较少, 总体上的分布状态为随机分布。该林分为自然演替形成的天然林, 未经人为干扰或抚育, 但随着林分的生长, 林木之间竞争加剧、自疏作用增强, 从而使林分分布从聚集转为随机分布, 这符合天然林演替过程中的规律。

表 4 兴安落叶松天然林林分角尺度频率分布

角尺度	林分	兴安落叶松	白桦	山杨
0	0.010	0.009	0.002	0
0.25	0.179	0.169	0.162	0.833
0.50	0.533	0.518	0.614	0.458
0.75	0.256	0.213	0.149	0.333
1.00	0.021	0.090	0.071	0.125
平均值	0.485	0.551	0.531	0.625

3.5.2 大小比数

大小比数值能够量化林分中树木的大小分化程度, 反映林木之间的竞争关系^[16]。本研究中分别用胸径、树高和冠幅 3 个指标对兴安落叶松天然林林分整体和建群的 3 个树种的大小比数进行计算, 结果见表 5。3 个指标的大小比数值略有差别, 但是 3 种指标的大小比数在不同状态的分布差异小, 平均大小比数也相差不大。不仅说明林分中林木个体的胸径、树高、冠幅个体的差异不明显, 林木分化不严重, 总体上为中庸状态; 并且能证明林分的胸径与树高和冠幅因子之间的正相关关系。研究对象得大小比数基本平均的处于 0、0.25、0.5、0.75、1.00, 表明林分中林木之间的关系良好, 无需进行人为干扰的抚育措施。以白桦和山杨为参照树, 以胸径和冠幅计算的大小比数值表明, 白桦和山杨相对处于劣势的地位。

表 5 兴安落叶松天然林不同生长指标的大小比数频率分布

U_i	林分			兴安落叶松			白桦			山杨		
	胸径	树高	冠幅	胸径	树高	冠幅	胸径	树高	冠幅	胸径	树高	冠幅
0	0.200	0.205	0.190	0.227	0.202	0.184	0.182	0.201	0.184	0.167	0.167	0.161
0.25	0.220	0.202	0.198	0.180	0.202	0.209	0.216	0.208	0.201	0.167	0.250	0.220
0.50	0.138	0.200	0.186	0.180	0.196	0.184	0.197	0.210	0.182	0.208	0.167	0.167
0.75	0.194	0.187	0.195	0.207	0.184	0.209	0.184	0.175	0.193	0.292	0.208	0.202
1.00	0.246	0.206	0.231	0.205	0.213	0.213	0.221	0.206	0.240	0.167	0.208	0.208
平均值	0.516	0.497	0.520	0.495	0.517	0.511	0.511	0.494	0.526	0.531	0.510	0.515

3.5.3 混交度

混交度指林分中树种之间的空间隔离程度, 是重要的林分空间结构之一, 混交度越高, 说明物种多

样性更高、结构更为复杂, 从而结构更稳定。研究地区大兴安岭林区属达乌里区系, 其组成树种较少, 本研究所设立的固定样地由兴安落叶松、白桦和山杨

3种树种组成。林分密度为 $1\ 304\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 兴安落叶松密度为 $638\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 断面积为 $17.68\ \text{m}^2$, 占总断面积的 62.8% , 显然是本样地的优势种, 也是建群种。伴生树种白桦和山杨的株树密度分别为 $640\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $26\ \text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (见表1)。林分混交度为 $0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00$ 的林木株数比例依次递减, 分别为 $34.6\%, 26.8\%, 19.0\%, 12.3\%, 7.3\%$ 。林分平均混交度为 0.327 , 表明林分结构单元中参照树与最近相邻木之间属同种的情况最多, 该样地为弱度混交林。

4 结论与讨论

以大兴安岭 $1.05\ \text{hm}_2$ 兴安落叶松天然林固定样地调查数据为依据, 分析了兴安落叶松天然林的结构特征。研究表明兴安落叶松天然林的直径分布为倒“J”型, 林分树高结构分布为单峰偏左曲线, 分布特征随着径阶和树高的增长林木株数减少。这与蒋桂娟等^[16]对云冷杉天然林结构研究结果相吻合。Exp3P2 函数和柯列尔函数可以很好的拟合兴安落叶松的直径分布和树高分布。选用 Wykoff 方程和 Monomolecular 函数分别对兴安落叶松的胸径与树高和冠幅的相关性研究, 得兴安落叶松的树高与冠幅均随胸径的增大而增大。树高和冠幅的测量相对耗时费力, 且会产生很大的误差, 通过本研究的结果, 在以后的兴安落叶松天然林调查时, 只需测量一部分树木的树高和冠幅, 缺失的树高和冠幅数据可以通过 Wykoff 方程和 Monomolecular 函数计算得出。林分的各个调查因子(如年龄、林分断面积、株数和树种等)之间均有紧密的关联, 利用模型拟合林分结构时, 如果考虑了多个林分调查因子, 则有林分调查因子的模型能够解释林分变化, 进而提高模型的检测精度。随着科学的发展, 这方面有待进一步深入研究。

研究地区的兴安落叶松天然林处于随机分布格局, 林分平均角尺度为 0.585 , 该结果与王铁牛^[17]对天然林空间结构研究的结果相同。林分平均大小比数均呈现中庸状态, 利用胸径、树高和冠幅3个指标计算林分平均大小比数时略有差别, 但不同指标的大小比数在不同状态的分布差异不大, 这一点也可以说明林分的胸径、树高、冠幅等因子之间存在生态相关性^[18-19]。本研究样地的组成树种较少, 由兴安落叶松、白桦和少量山杨组成, 林分平均混交度 0.327 , 属于弱度混交。建群种落叶松的生长处于明显优势地位, 表明该地区为典型的兴安落叶松天然

林。从目前的研究来看, 未经人为干扰的天然林结构被认为是最优的, 因经历了长期的自然更替, 林木之间关系复杂多样, 复层异龄, 且高度协调发展, 拥有较高的混交度, 其生态效益远高于其他类型的林分^[20]。因此, 在以后的研究中, 以该天然林为对照标准, 对不同采伐方式、采伐强度的林分进行结构比较, 最终根据经营目标, 进行调控技术的研究。林分的年龄结构也是林分的一大重要结构之一, 对兴安落叶松天然林进行长期检测, 结合年龄结构进行动态的研究是未来研究的重要领域之一。

参 考 文 献

- [1] 魏晓慧, 孙玉军, 郭孝玉. 森林多功能经营技术研究综述[J]. 林业资源管理, 2011(6): 88-93.
- [2] 封尧. 基于 Voronoi 图的杉木生态公益林空间结构研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [3] 于海俊. 内蒙古大兴安岭林区实施天然林资源保护工程的对策措施[J]. 内蒙古林业调查设计, 2006, 29(2): 58-62.
- [4] MOEUR M. Characterizing spatial patterns of trees using stem mapped data[J]. Forest Science, 1993, 39(4): 756-75.
- [5] 刘凤芹, 曹云生, 杨新兵, 等. 冀北山区华北落叶松桦木混交林空间结构分析[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(3): 32-38.
- [6] 任百林, 徐锡增, 方升佐. 杨树人工林生长与收获系统模型构建[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(5): 1-5.
- [7] BIGING G S, DOBBERTIN M. A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees[J]. Forest Science, 1992, 38(3): 695-720.
- [8] COMAS C, PALAHÍ M, PUKKALA T, et al. Characterising forest spatial structure through inhomogeneous second order characteristics[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2009, 23(3): 387-397.
- [9] BOLTON D K, COOPS N C, WULDER M A. Measuring forest structure along productivity gradients in the Canadian boreal with small footprint Lidar[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(8): 6617-6634.
- [10] FUELDNER K. Struktur beschreibung von Buhen-Edel-Haubholz Mischwaeldem [M]. Goettingen: Cuvillier Verlag Goettingen, 1995: 342-356.
- [11] 龚直文, 亢新刚, 顾丽, 等. 天然林林分结构研究方法综述[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(3): 434-443.
- [12] VON GADOW K, FÜLDNER K. Zur bestandesbeschreibung in der forsteinrichtung[J]. Forst und Holz, 1993, 48(21): 602-606.
- [13] 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等. 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析[J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2867-2876.
- [14] CALAMAR, MONTERO G. Interregional nonlinear height-diameter model with random coefficients for stone pine in Spain[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2004, 34(1): 150-163.
- [15] 玉宝, 乌吉斯古楞, 王百田, 等. 兴安落叶松天然林树冠生长特性分析[J]. 林业科学, 2010, 46(5): 41-48.
- [16] 蒋桂娟, 郝小贤. 吉林省汪清林业局云冷杉天然林结构特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(4): 35-41.
- [17] 王铁牛. 长白山云冷杉针阔混交林经营模式研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [18] 刘文桢, 赵中华, 惠刚盈, 等. 小陇山油松天然林结构特征[J]. 林业科学研究, 2011, 24(4): 437-442.
- [19] 姚始强, 李桂荣, 梁士楚. 广西防城港红树植物木榄种群结构的研究[J]. 海洋环境科学, 2009, 28(3): 301-304.
- [20] 陈昌雄, 刘健, 余坤勇, 等. 基于空间结构优化的马尾松阔叶树混交林模拟采伐[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(6): 29-32.