

长白山云冷杉原始林径阶多样性 及空间结构分析

周蔚 杨华* 亢新刚 赵浩彦 岳刚

(北京林业大学 林学院/省部级共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083)

摘要: 利用径阶多样性指数,配合混交度、大小比、角尺度3空间结构参数分析了长白山云冷杉原始林的结构特征。结果表明:在调查的25年间,林分径阶多样性总体变化不大,但在小范围内有先增大再减小的趋势。对目前林分空间结构的研究看出,林分平均混交度为0.82,林分种间隔离程度较大,林分处于稳定水平;林分胸径大小比数和树高大小比数分别为0.50和0.46,总体优势度有继续上升的潜力;林分平均角尺度为0.514,呈随机分布状态。

关键词: 云冷杉原始林;径阶多样性;空间结构

中图分类号: S791.14.06 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)02-0311-06

Diameter Class Diversity and Spatial Structure of Primary Spruce-fir Forest in the Changbai Mountains

ZHOU Wei, YANG Hua*, KANG Xin-gang, ZHAO Hao-yan, YUE Gang

(Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The primary spruce-fir forest in the Changbai Mountains was studied on its diameter class diversity indices with the three spatial structure indexes of mingling, neighborhood comparison and neighborhood pattern. The results showed that diameter class diversity changed little in the 25 years of investigation, but it increased first and tended to decrease later in small scale. The study for the present stand spatial structure showed that the average mingling in the stand was 0.82, showing that the stand had a larger mixed degree, and the stand was at a stable level. The values of neighborhood comparison of diameter at breast height and tree height of the stand was 0.50 and 0.46 respectively, the overall dominance had the potential to continue to rise. The average value of neighborhood pattern of the stand was 0.514, showing a random distribution.

Key words: primary spruce-fir forest; diameter class diversity; spatial structure

长白山林区是我国开发利用比较早的林区,森林植物种类较多,结构也比较复杂,目前是我国天然林保护工程的重点林区,也是东北地区主要的木材生产基地。云冷杉针阔混交林在东北地区主要分布于长白山、小兴安岭、张广才岭等部分林区,该类型的森林是该地区的优势林型,具有比较高的林地生产力和稳定性。但是由于曾经遭受沙俄和日本侵略者的严重破坏,加上解放初期的过量采伐,当地大面积

收稿日期: 2011-11-01 修回日期: 2011-12-02

基金项目: 国家公益性行业(林业)科研专项(200804027)

作者简介: 周蔚(1990—),男,硕士生,主要从事森林可持续经营研究, E-mail: zhouwei880429@163.com; * 通讯作者: 杨华,副教授, E-mail: huayang8747@163.com。

的天然原始林已经退化成次生林。通过对长白山云冷杉原始林开展研究,了解其径阶多样性及空间结构,为大面积云冷杉针阔混交退化林分找到恢复依据和模式。

1 研究区概况

研究地点位于吉林省汪清县金沟岭林场,地处北纬 43°17′~43°25′,东经 130°05′~130°20′,经营面积 16 286 hm²。林场为低山丘陵地貌,海拔 550~1 100 m,坡度多在 5°~25°,极少陡坡在 35°以上。该区属季风性气候,全年平均气温 4℃左右,年积温 2 144℃,其中 1 月平均气温最低,在 -32℃左右,7 月平均气温最高,在 32℃左右。年降水量在 600~700 mm,多集中在 7 月。早霜从 9 月开始,晚霜延至第 2 年 5 月,生长期 120 d。本区土壤以暗棕壤为主^[1]。

该地区立地条件较好,植物种类繁多,主要乔木树种有:冷杉(*Abies nephrolepis*)、鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)、红松(*Pinus koraiensis*)、红皮云杉(*Picea koraiensi*)、杨树(*Populus ussuriensis*)、椴树(*Tilia amurensis*)、色木(*Acer mono*)、榆树(*Ulmus pumila*)、白桦(*Betula platyphylla*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、枫桦(*Betula costata*)等。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查方法

金沟岭林场云冷杉原始林样地是 1986 年设置的,样地面积 40 m×50 m,每两年复测 1 次,在标准地进行每木检尺。对胸径在 5 cm 以上的树木进行每木检尺,记录树种、树高、胸径、活枝下高、死枝下高、冠幅等。2011 年在每木检尺的同时,又对样地内的树木进行了定位调查,在林木空间位置测定时,把样地分割成 10 m×10 m 小的调查单元,将每个小单元的西南角设定为坐标原点,用皮尺分别测量调查单元中每株树木的位置坐标(*x y*)。*x y* 分布表示东西和南北方向坐标。在样地的中心和四角位置各设置 5 m×5 m 的样方,调查样地内幼树幼苗情况,包括树种、株数、树高、地径或胸径(树高在 1.5 m 以下的测量地径,树高超过 1.5 m 的测量胸径)。在 5 m×5 m 的样方中,设置 2 m×2 m 的样方调查灌木名称、株数、高度、盖度等。在 2 m×2 m 样方中,再设置 1 m×1 m 的样方对草本进行调查,记录种类、数量、盖度、高度等。分时间段统计样地基本情况如表 1 所示。

表 1 样地基本概况

Tab.1 General information of plots

年份 Year	株数/(株·hm ⁻²) Number	平均胸径/cm Average diameter	断面积/(m ² ·hm ⁻²) Basal area
1986	675	30.19	48.283
1994	735	29.34	49.655
2002	705	31.56	55.128
2011	680	31.88	54.245

2.2 分析方法

2.2.1 径阶多样性指数 径阶多样性指数计算公式如下^[2]:

(1) 受径阶范围影响的指数: Margalef 指数 $D_{Mg} = (S - 1) / \ln(A_B)$; Shannon 指数 $H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i)$;

$$\text{Gini 指数 } G_C = \frac{\sum_{j=1}^n (2j - n - 1) \alpha_{bj}}{\sum_{j=1}^n \alpha_{bj} (n - 1)}。$$

(2) 优势度指数: Simpson 指数 $D_{si} = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$; Berger - parker 指数 $D_{BP} = 1 - \alpha_{bmax} / A_B$ 。

(3) 均匀度指数: Pielou 均匀度指数 $E_{sh} = H' / \ln S$; Simpson 均匀度指数 $E_{si} = D_{si} / (1 - 1/S)$ 。

其中: S 为径阶数量, A_B 为单位面积断面积 (m^2/hm^2) p_i 为 i 径阶的断面积占总断面积的百分比, α_{ij} 为 j 树的单位面积断面积 j 为将树木按断面积从小到大排序后的顺序 $j=1, 2, 3, 4, \dots, n$ (n 为株数)。 $\alpha_{b\max}$ 为最大径阶单位断面积 (m^2/hm^2)。

2.2.2 空间结构分析 空间结构分析以空间结构单元为基础, 空间结构单元是由林分内任意一株树和与它相邻的 n 株树构成。这株树称为参照木, 而与这棵树相邻的 n 株树称为相邻木。可以看出, 空间结构单元取决于相邻木的株数, 即 n 值越大, 空间结构单元越大, 本研究取 $n=4$ ^[3], 也就是说以参照木及其相邻的 4 株树构成的结构单元为基础, 利用描述树种空间隔离程度的混交度、描述个体大小分化程度的大小比数、描述林木在水平地面上的分布格局的角尺度^[3], 来分析云冷杉针阔混交原始林林分空间结构。

(1) 混交度。混交度是指参照木的相邻树中与参照木属于不同种的个体所占的比例, 用公式表示为:

$$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 V_{ij} \quad (1)$$

式中, V_{ij} 表示为参照木与相邻木是否同种, 当参照木 i 与第 j 株相邻木非同种时 $V_{ij}=1$, 反之 $V_{ij}=0$ 。

M_i 有 5 种取值, 为 0、0.25、0.5、0.75、1.0, 它们分别对应于零度、弱度、中度、强度、极强度混交。根据上式计算的混交度称为点混交度, 林分混交度为点混交度的平均值, 即

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i \quad (2)$$

式中, N 为林分内林木株数。

(2) 大小比数。大小比是指大于参照木的相邻木所占相邻木的比例, 用公式表示为:

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 K_{ij} \quad (3)$$

式中, K_{ij} 表示参照木与相邻木比较是否占优, 当参照木 i 比相邻木 j 小时 $K_{ij}=1$, 反之 $K_{ij}=0$ 。

U_i 有 5 种取值, 为 0、0.25、0.5、0.75、1.0, 它们分别对应于参照木所处的状态, 即优势、亚优势、中庸、劣汰、绝对劣汰。

通过分别树种计算大小比数的平均值, 能够准确地反映林分内各个树种的优势度。平均大小比数越小, 说明该树种所处的优势地位越突出, 公式表示为:

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \quad (4)$$

式中, N 为所观察树种参照木的数量。

(3) 角尺度。任意两个最近相邻木的夹角有两个, 其中小角为 α , 角尺度是指 α 小于标准角 α_0 (取 $\alpha_0 = 72^\circ$)^[4] 的个体占所观察最近相邻木的比例。公式表示为:

$$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 Z_{ij} \quad (5)$$

式中, Z_{ij} 表示参照木与相邻木所夹角 α 是否小于标准角 α_0 , 当第 j 个 α 角小于 α_0 时 $Z_{ij}=1$, 反之 $Z_{ij}=0$ 。

W_i 有 5 种取值 0、0.25、0.5、0.75、1.0, 它们分别对应的分布格局为绝对均匀、均匀、随机、不均匀、团状分布。

W_i 值只能反映林分中单木的分布格局, 而均值 (\bar{W}) 可以反映林分整体的分布情况。计算公式为:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i \quad (6)$$

式中, N 为林分内参照木的数量。

通过分析主要树种混交度和平均混交度, 研究树种空间配置; 通过分析各树种结构单元的大小比数, 研究树种在林分内生长优势程度; 通过分析样地平均角尺度, 研究林木水平分布格局^[5-7]。

分析径阶多样性时, 将调查数据分成 1986 年、1994 年、2002 年和 2011 年 4 个年份进行研究, 探讨其变化规律。对空间结构各特征(林木种间关系、大小分化程度和空间分布格局)的研究时, 只有 2011 年的定位调查数据, 只对当前的林分状态进行了分析。

3 结果与分析

3.1 径阶多样性分析

样地各径阶多样性指数值随时间的变动如表 2 所示,云冷杉原始林径阶多样性指数值总体较高,尤其是 Simpson 指数、Berger - parker 指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 均匀度指数。4 个年份的各多样性指数值总体变化不大,但存在小范围的差异,1994 年各径阶多样性指数值最高,所调查的 25 年间多样性指数值在小范围内有先增大,然后又减小的趋势。

表 2 各指数值随时间变动

Tab.2 Index values based on different investigation years

指数 Idex	1986	1994	2002	2011
Margalef	6.96	7.68	6.98	6.97
Shannon	3.16	3.24	3.10	3.10
Gini	0.61	0.64	0.63	0.65
Simpson	0.95	0.96	0.94	0.94
Berger - parker	0.91	0.93	0.88	0.84
Pielou 均匀度 Pielor uniformity	0.95	0.94	0.92	0.90
Simpson 均匀度 Simpson uniformity	0.98	0.99	0.97	0.97

3.2 林分内树木的种间关系

混交度反映林分种间隔离程度,一般认为混交度越大,林分相对越稳定。不同树种的混交度频率分布及均值,如表 3 所示,全林平均混交度为 0.82,并且分布在强度混交和极强度混交等级上的频率占 78%,无零度混交现象,说明树种混交度相当高。并且建群种云杉和冷杉混交度分别为 0.74 和 0.79,都达到了很高的水平,红松和椴树混交度分别为 0.85 和 0.7,也都达到强度混交的水平,因此,林分总体处于较稳定的水平。

表 3 主要树种混交度及其频率分布

Tab.3 Mingling intensity and its distribution for main tree species

树种 Species	混交度频率分布 Mingling intensity and its distribution					均值 Mean
	零度混交 Zero	弱度混交 Weak	中度混交 Moderate	强度混交 Strong	极强度混交 Pole strength	
云杉 <i>Picea jezoensis</i>	0	0.17	0.12	0.29	0.42	0.74
冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	0	0	0.2	0.44	0.36	0.79
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	0	0	0.27	0.06	0.67	0.85
椴树 <i>Tilia amurensis</i>	0	0.2	0.15	0.3	0.35	0.7
全林分 All stand	0	0.07	0.15	0.23	0.55	0.82

3.3 林木大小分化程度

本研究利用胸径大小比数(U_d)和树高大小比数(U_H)两种不同的计量变量,分别描述林分结构单元(胸径和树高)的大小分化程度,各变量大小比数频率及均值(\bar{U})如表 4 所示。

①胸径大小比数(U_d):林分平均胸径大小比数为 0.5,说明林分中有一半的树木处于优势地位,并且比值在各等级上出现的几率相近(20%左右),总体优势度有继续上升的潜力。冷杉平均胸径大小比数为 0.31,亚优势和优势所占的比例为 86%,说明冷杉大部分能够占据有利的生态位;云杉平均胸径大小比数为 0.7,亚优势和优势所占比例仅为 14%,说明仅有小部分云杉占据有利的生态位,大部分在竞争中处于劣势;红松胸径大小比数为 0.56,处于相对劣势;椴树胸径大小比数为 0.38,处于明显的优势地位。

②树高大小比数(U_H):林分平均树高大小比数为 0.46,并且各等级上分布的频率也比较均匀,冷

杉树高大小比数为 0.28, 云杉为 0.65, 红松为 0.56, 椴树为 0.40, 林分 U_H 与 U_d 情况相近。

表 4 各变量大小比数及其频率分布

Tab. 4 Neighborhood comparison and its distribution for the variable

树种 Species	变量 Variable	大小比数频率分布 Neighborhood comparison and its distribution					均值 Mean
		极劣势 Extreme disadvantage	劣势 Disadvantage	中庸 Mediocre	亚优势 Subdominant	优势 Superiority	
云杉	U_d	0.27	0.46	0.13	0.07	0.07	0.70
<i>Picea jezoensis</i>	U_H	0.30	0.33	0.17	0.07	0.13	0.65
冷杉	U_d	0.00	0.19	0.15	0.35	0.31	0.31
<i>Abies nephrolepis</i>	U_H	0.04	0.12	0.23	0.15	0.46	0.28
红松	U_d	0.26	0.16	0.26	0.21	0.11	0.56
<i>Pinus koraiensis</i>	U_H	0.21	0.16	0.37	0.16	0.10	0.56
椴树	U_d	0.14	0.18	0.14	0.14	0.40	0.38
<i>Tilia amurensis</i>	U_H	0.14	0.18	0.14	0.22	0.32	0.40
全林分	U_d	0.16	0.25	0.18	0.24	0.17	0.50
All stand	U_H	0.17	0.18	0.22	0.20	0.23	0.46

通过研究云冷杉原始林的胸径大小比数和树高大小比数,可以看出胸径大小比数和树高大小比数在各等级上的分布频率非常接近,由于树木的胸径比较容易测量,准确度也比较有保证,利用胸径大小比数描述树木大小分化程度的方法应用较广泛,而树高值相对较难精确测量,树高大小比数的应用相对较少。本研究分析认为胸径大小比数和树高大小比数都可以用来描述林分的空间结构,但前者更容易被测定,因此,可以利用胸径大小比数来代替树高大小比数描述林木的大小分化程度。

3.4 林木空间分布格局

云冷杉原始林不同树种的角尺度频率分布及均值,见表 5。林分平均角尺度为 0.514,根据空间分布格局判别标准,角尺度平均值在 0.457~0.517 之间时为随机分布,小于 0.457 时为均匀分布,大于 0.517 时为团状分布^[8-10],林分处于随机分布状态。冷杉和椴树角尺度分布为 0.492 和 0.474,处于随机分布状态。云杉和红松角尺度分别为 0.596 和 0.563,呈现出明显的团状分布。

表 5 主要树种角尺度及其频率分布

Tab. 5 Neighborhood pattern and its distribution for main tree species

树种 Species	角尺度及其频率分布 Neighborhood pattern and its distribution					均值 Mean
	绝对均匀 Absolutely uniform	均匀 Uniform	随机 Random	不均匀 Uneven	团状 Aggregated	
云杉 <i>Picea jezoensis</i>	0.000	0.154	0.538	0.077	0.231	0.596
冷杉 <i>Abies nephrolepis</i>	0.000	0.233	0.600	0.133	0.033	0.492
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	0.000	0.125	0.563	0.250	0.063	0.563
椴树 <i>Tilia amurensis</i>	0.000	0.211	0.684	0.105	0.000	0.474
全林分 All stand	0.000	0.243	0.561	0.093	0.103	0.514

4 结论与讨论

通过分析长白山云冷杉原始林径阶多样性得出,1986—2011 年,径阶多样性各指数值总体上变化不大,但在小范围内先增大再减小,由于研究区是原则上未经人为干扰的原始云冷杉林,该林分代表地带性顶级群落,径阶多样性总体变化不大很容易理解,各指数值在小范围内先增大再减小的原因可能是随着树木的生长,尤其一些大树胸径的增加,产生新的径阶,促使径阶多样性各指数值增加,当这部分大树生长到过熟阶段时,开始出现自然老死现象,或者由于 1994 年之后当地的自然条件相对比较恶劣,雪

压、风折等自然因素的干扰,造成一些树木的死亡,另外也不排除有极少量的盗伐情况发生的可能性,从而使各径阶多样性指数值降低。

利用空间结构3个参数指标(混交度、大小比数和角尺度)对目前云冷杉原始林空间结构各特征(林木种间关系、大小分化程度和空间分布格局)进行分析研究,得出林分平均混交度为0.82,林分总体处于比较稳定的水平;林分胸径大小比数为0.5,树高大小比数为0.46,比值在各等级上出现的几率相近,总体优势度有继续上升的潜力。胸径大小比数与树高大小比数相关性较强,变化规律一致性较好;林分平均角尺度为0.514,呈随机分布状态,这与林分在未受到人为干扰的情况下,往往处于随机分布状态^[11]相吻合。

本研究将常用于评价物种多样性的指数用来描述林分中林木的径阶多样性,用混交度、大小比数和角尺度3个参数指标描述林分的空间结构,无论是在理论研究上或实践应用上能更加全面地反映云冷杉原始林的林分结构,可为云冷杉次生林的科学经营提供依据。另外,也存在以下两个方面的问题,有待进一步的研究:(1)计算林分结构多样性指数时,需要将树高、胸径等结构单元分成树高阶、径阶等,进行分组计算其相应的比例,目前分组的方法缺乏统一的标准,本研究采用2 cm为一径阶的分组方法,并未考虑其它方法;(2)在研究空间结构的各特征时,由于只有2011年的定位调查数据,只能对目前的林分结构状况进行分析,不能像研究径阶多样性一样分成4个年份来分析变化,从而限制研究的进一步深入。

参考文献:

- [1]胡云云,闵志强,高延,等.择伐对天然云冷杉林林分生长和结构的影响[J].林业科学,2011,47(2):15-24.
- [2]何列艳,亢新刚,赵俊卉,等.长白山云冷杉针阔混交林径阶多样性指数对比[J].浙江农林大学学报,2011,28(3):432-438.
- [3]惠刚盈,克劳斯·冯多佳.森林空间结构量化分析方法[M].北京:中国科学技术出版社,2003.
- [4]惠刚盈,Von Gadow K,胡艳波.林分空间结构参数角尺度的标准角选择[J].林业科学研究,2004,17(6):687-692.
- [5]贾秀红,郝小贤.长白山过伐林区云冷杉针阔混交林空间结构分析[J].华中农业大学学报,2006,25(4):436-440.
- [6]汤孟平,唐守正,雷相东.两种混交度的比较分析[J].林业资源管理,2004,4(8):25-27.
- [7]郝云庆,王金锡,王启和,等.柳杉人工林林分不同变量大小比数研究[J].应用生态学报,2006,17(4):751-753.
- [8]惠刚盈,胡艳波.角尺度在林分空间结构调整中的应用[J].林业资源管理,2006,34(2):31-35.
- [9]Gadow K V,Hui G Y. Characterizing forest spatial structure and diversity [C]//Proceedings of the SUFOR International Workshop "Sustainable Forestry in Temperate Regions". Sweden: Lund University, 2002.
- [10]安慧君.阔叶红松林空间结构的研究[D].北京:北京林业大学,2003.
- [11]李俊清.森林生态学[M].北京:高等教育出版社,2010.