

文章编号:1001-1498(2013)05-0622-06

川西山地岷江冷杉风景林林分空间结构分析

王 丽¹, 蔡小虎¹, 王 宇¹, 谢大军¹, 李红霞¹, 闵安民^{1*},
何建社², 杨昌旭³

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610066; 2. 四川省阿坝藏族羌族自治州科学技术研究院, 四川 汶川 623000;
3. 四川省理县林业局, 四川 理县 623100)

摘要:应用传统林分结构因子配合混交度、角尺度、大小比数和开敞度4个林分空间结构参数,分析了川西山地退化风景林的空间结构特征。结果表明:林分结构较为简单,林分乔木层由7个树种组成,树种密度分布差异较大,树种结构相对单一;林分垂直结构特征明显,可分为3个林层,呈现出典型的复层林结构特征;林分平均混交度为0.46,以中强度混交单元为主,所占比例达61%;平均角尺度为0.483,属于随机分布状态;林木的胸径大小比数为0.286,有接近30%的林木处于优势状态;林分平均开敞度为0.309,林木生长空间基本充足。岷江冷杉种群优势度明显,群落处于相对稳定状态,其他5个树种由于株数较少,且径级分布不连续,自然更新较困难,经过一定时间的演化,将死亡,因此必须切实采取保护措施,保证其顺利生长,以保持物种多样性和群落的稳定性。

关键词:川西山地;风景林;空间结构;岷江冷杉

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

Spatial Structure of Scenic Forest of *Abies faxoniana* in Western Sichuan

WANG Li¹, CAI Xiao-hu¹, WANG Yu¹, XIE Da-jun¹, LI Hong-xia¹, MIN An-min¹,
HE Jian-she², YANG Chang-xu³

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610066, Sichuan, China; 2. Aba Academy of Science and Technology, Wenchuan 623000, Sichuan, China; 3. Forestry Bureau of Lixian County, Lixian 623100, Sichuan, China)

Abstract: Combining traditional stand structure indexes with 4 spatial structure parameters (mingling, angle index, neighborhood comparison and opening degree), the spatial structure of *Abies faxoniana* scenic forest in western Sichuan was studied. The results indicated that the species diversity of *A. faxoniana* scenic forest was simple. There were 7 tree species in tree layers, and the vertical structure of stand could be divided into 3 layers. The average mingling of the stand was 0.46, showing that the mixed degree of the forest is in middle intensity, and the middle mixed degree was 61% of the stand. The angle index was 0.483, indicating that the tree position in this stand was randomly distributed. The neighborhood comparison was 0.286, and there were nearly 30% trees in the stand being dominant. The average opening degree was 0.309, displaying the growth space of most trees in the forest was sufficient. *A. faxoniana* population is dominant now, and the community is in a relatively stable state. But because of the number of other 5 tree species is few, and the DBH structure of community was not continuous, the natural regeneration is difficult, and after a certain time of evolution, they may disappear. So it is urgent to take practical protection measures to ensure the tree's growth in order to maintain the species diversity and community stability.

Key words: western Sichuan; scenic forest; spatial structure; *Abies faxoniana*

收稿日期: 2012-07-04

基金项目: 国家林业局公益专项;川西山地退化风景林生态恢复关键技术研究;四川林科院自列项目;四川省主要森林土壤类型肥力诊断及评价

作者简介: 王 丽(1982—),女,山东聊城人,博士,助理研究员,主要从事森林土壤生态研究。E-mail: vengly@163.com.

* 通讯作者。

林分空间结构是指林木在林地上的分布格局及其属性在空间上的排列方式^[1-2]。林分的结构决定了林分的功能,通过对林分结构的研究,为森林调整和制定经营决策提供理论支持^[3]。而分析林分结构的基础是对其准确描述,传统林分结构因子通常包括树种组成、年龄结构、直径结构、树高结构、密度和蓄积等^[4],这些林分结构因子在一定程度上表达了林分的均值信息,了解它们是研究林分结构的基础;但这些结构因子大多不含空间结构信息,而空间结构决定树木之间的竞争势及其空间生态位,在很大程度上决定林分的稳定性、发展的可能性和经营空间的大小。研究林木之间的空间关系,对林分空间结构调整进行定量分析,将提高林分经营决策的准确性^[5]。林分空间结构可以从以下4个方面进行描述:①用以衡量树种隔离程度的混交度;②用以描述林木个体在水平面上分布形式的角尺度;③用以衡量林木大小分化程度的大小比数;④用以描述林木个体生长空间大小的开敞度。目前林分空间结构理论在北方森林群落结构研究中应用较多^[6-9]。

川西山地处于青藏高原东南缘,集中分布面积约占四川省森林的2/3,不仅是世界上仅有的独特生态系统和世界山地生物物种的一个重要起源和分化中心,也是国际生物多样性保护的关键和热点地区之一,并且是我国长江地区的“江河源”、“气候调节器”和“森林水库”。由于该地区具有独特的气候条件,特殊生态系统、特有的珍稀野生动植物种,具有成为中国自然生态旅游目的地的潜力,为生态旅游的发展提供十分优越的条件。由于历史上对森林的过度开发利用以及受5.12地震的影响,区域森林景观遭到不同程度的破坏,加之多种多样的自然灾害,该区域森林土壤功能退化,森林风景资源遭到严重破坏,森林可持续发展正面临着严峻考验。有关川西山地风景林空间结构特征的研究还未见报道,本文在查阅相关资料,并结合实地调查的基础上,对川西山地风景林空间结构进行了分析。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

研究区位于理县凉台沟风景区,地处青藏高原东南部,邛崃山脉主峰北段,海拔高度2 015~5 922 m,距成都221 km,距县城20 km。集高山、峡谷、清泉、瀑布、雪山、原始森林等优美的自然风光于一体。景区内红叶、杜鹃花种类繁多,溪水潺潺,森林原始,

瀑布飞挂,冰川奇特。气候属于山地型立体气候,春夏季降水量多,冬季无霜期短,年降水雨量在650~1 000 mm之间,河谷地带年均气温6.9~11℃。

调查地位于凉台沟坡中上部,立地条件较好,土层和枯落物层较厚,植被郁闭度较高,样地内以岷江冷杉(*Abies faxoniana* Rehd. et Wils.)为优势种,乔木层其他树种主要有桦木(*Betula* spp.)、云杉(*Picea asperata* Mast.)、四川红杉(*Larix mastersiana* Rehd. et Wils.)、高山杜鹃(*Rhododendron lapponicum* (L.) Wahl.)、野樱桃(*Cerasus szechuanica* (Batal.) Yü et Li)、高山柏(*Sabina squamata* (Buch. - Hamilt.) Ant.)等,常见林下植被有悬钩子(*Rubus phoenicolasius* Maxim)、扁刺峨眉蔷薇(*Rosa omeiensis* f. *ptercantha* Rehd. et Wils.)、无距兰(*Aceratorchlis tschiliensis* Schltr.)、杜鹃(*Rhododendron* spp.)、鹿蹄草(*Pyrola rotundifolia* subsp. *chinensis* H. Andres)、唐古特忍冬(*Lonicera tangutica* Maxim.)、马先蒿(*Pedicularis* sp.)等。

1.2 林地调查法,边缘效应的校正及结构单元的确定

在全面踏查的基础上,选择典型样地2块,每块样地大小25 m×25 m,记录标准地群落类型、海拔、坡向、坡度、土壤等立地条件因子。标准地内逐株编号并测量,记录每株树木的相对X、Y坐标、树种、胸径、树高、冠幅及坐标值等因子,利用这些特征值计算林分空间结构参数。样地按照一般林业野外调查要求设置。林分空间结构分析中,样地边界木的处理方法主要有距离缓冲区法、8邻域对称式法、8邻域平移式法和第4邻体距离判定法,周红敏等研究表明,距离缓冲区法、8邻域平移式法和第4邻体距离判定法优于8邻域对称式法^[10]。前人研究表明,在1株参照树与其4株相邻木组成的结构单元中,4株最近相邻木与参照树构成的结构关系有5种,即零度、弱度、中度、强度、极强度,过渡阶段完整,生物学意义明显,空间结构信息比较完整,且这种结构单元的可释性和可操作性都比较强,较适宜于描述林分的空间结构^[11-13]。因此,本文以样地内每一棵调查木为目的树,选取其周围4株最近相邻木共同组成一个林分空间结构单元,采用8邻域平移式法对样地边缘木进行校正。

1.3 林分基本特征

林分基本概况见表1。在调查样地内,林分密度为1 150株·hm⁻²,乔木层由7个树种组成,根据

树种株数和断面积排序前2位的是岷江冷杉和云杉,平均胸径最大的树种是岷江冷杉为23.5 cm,平均树高最高的树种是岷江冷杉23.12 m。从垂直结构看,群落可划分为3个林层:小于4 m,4~9 m,大

于9 m。其中岷江冷杉、桦木和红杉的平均树高处于林分上层,云杉、杜鹃和野樱桃处于中间层,高山柏处于下层。

表1 岷江冷杉风景林林分概况

树种	株数/(株·hm ⁻²)	断面积/(m ² ·hm ⁻²)	胸径/cm			树高/m		
			最大	最小	平均	最高	最低	平均
岷江冷杉	725	31.43	37.5	5.1	23.50	26	4	23.12
桦木	25	0.35	35.6	5.6	13.40	16	4	9.83
云杉	225	0.62	8.5	1.5	4.16	6.5	1.2	4.18
高山柏	75	0.11	6.5	1.2	4.40	4	1.6	2.57
杜鹃	25	0.25	20	8.2	11.26	5	3.2	4.4
野樱桃	25	0.29	30	3.9	12.18	6.1	2.8	4.61
红杉	50	4.11	27.8	7.5	16.65	26	10	19.45
合计	1 150	37.17	-	-	-	-	-	-

1.4 林分空间结构参数的计算

采用树种多样性混交度衡量对象木与最近邻木之间的树种空间隔离程度。其公式为:

$$M_i = \frac{n_i}{n^2} \sum_{j=1}^n V_{ij} \quad (1)$$

式中: M_i 表示对象木*i*所处的空间结构单元树种多样性混交度, n_i 为对象木*i*的*n*株最近邻木中不同树种个数, n 为最近邻木株数($n=4$)。当对象木*i*与第*j*株最近邻木属不同树种时, $V_{ij}=1$;当对象木*i*与第*j*株最近邻木属同树种时, $V_{ij}=0$ ^[14]。

角尺度(W_i)是描述*n*株最近相邻木围绕参照树*i*的均匀性。通过将参照树及其相邻木构成的交角(α_i)与均与分布时的期望夹角($n=4$ 时,标准角 $\alpha_0=72^\circ$)的比较来分析林木的分布状况。它被定义为 α 角小于标准角 α_0 的个数占所考察的最近相邻木的比例(α 角为从参照树出发,任意2株最近相邻木所构成的两夹角中的较小角)^[15]。公式为:

$$W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad (2)$$

式中:当第*j*个 α 角小于标准角 α_0 时, $Z_{ij}=1$;否则 $Z_{ij}=0$ 。研究表明: $n=4$ 的条件下,样地均匀角尺度 $W < 0.475$ 时为均匀分布; $0.475 \leq W \leq 0.517$ 时为随机分布; $W > 0.517$ 时为团状分布。

大小比数(U_i)是描述*n*株最近邻木与参照树*i*的大小关系的量化指标。它被定义为大于参照树的相邻木占所考察的全部最近相邻木的比例^[16]。公式为:

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

式中:若相邻木*j*比参照树*i*小, $K_{ij}=0$;否则, $K_{ij}=1$ 。

开敞度用来描述林木个体生长空间大小^[17]。将开敞度定义为林内任意一株参照树到最近*n*株相邻木水平距离与他们各自高度比值的均匀值。公式为:

$$B_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_{ij}/H_{ij} \quad (4)$$

式中: B_i 为第*i*基株的开敞度, D_{ij} 为基株到第*j*株相邻树的距离, H_{ij} 为第*j*株相邻木的高度, n 为相邻木株数。

2 结果与分析

2.1 林木树种空间隔离程度分析

树种多样性混交度(M_i)是描述群落中树种混交程度的重要指标,用来说明树种的空间隔离程度。在此将 M_i 的取值划分为5个区间: 0 、 $(0, 0.25]$ 、 $(0.25, 0.50]$ 、 $(0.75, 1.00]$,对应于混交度的定性描述分别为零度混交、弱度混交、中度混交、强度混交和极强度混交。凉台沟风景林树种多样性混交频率分布及均值详见表2。从表2中可知,全林混交度为0.46,并且分布在零度混交、中度混交和轻度混交3个等级上的频率之和达80%,其中以中强度混交单元为主达61%,零弱度混交占34%,极强度混交所占比例较低。从不同树种看,以优势树种岷江冷杉之间隔离程度更小,平均混交度只有0.21,属于弱度混交。以岷江冷杉为参照树的空间结构单元中以零度和弱度混交为主,所占比例约为88%,其次为中度混交和轻度混交单元,无极强度混交单元,

说明岷江冷杉有超过一半的数量与本种相伴。主要是因为林分由 7 个种组成,各树种密度相差较大,优势树种岷江冷杉株数占全林分株数的 63%,云杉株数占总株数的 20%,其他 5 个树种只占全林分的 17%。桦木的平均混交度达到 0.89 属于强度混交,

云杉、高山柏、杜鹃和野樱桃 4 个树种处于中度混交状态,但由于这些树种株数较少,林分整体混交度偏低。同时,红杉的混交度仅为 0.03,出现了零度混交和弱度混交频率占 100% 的现象,接近零度混交,加剧了林分混交度偏低的程度。

表 2 岷江冷杉风景林混交度统计

树种	混交度					均值
	零度混交	弱度混交	中度混交	强度混交	极强度混交	
岷江冷杉	0.56	0.32	0.07	0.05	0	0.21
桦木	0	0	0	0.87	0.13	0.89
云杉	0	0.5	0.15	0.1	0.25	0.45
高山柏	0		0.2	0.8	0	0.58
杜鹃	0	0	1	0	0	0.5
野樱桃	0		1	0	0	0.5
红杉	0.78	0.22	0	0	0	0.03
全林分	0.19	0.15	0.35	0.26	0.05	0.46

2.2 林木个体空间分布格局分析

对于每个空间结构单元而言,取 4 株最近相邻木时,最优状分标准角为 72° ^[15], W_i 有 5 种取值,即 0、0.25、0.5、0.75 或 1.00,对应于角尺度的定性描述分别为绝对均匀、均匀、随机、不均匀或很不均匀, W 值越大参照树周围的相邻木分布越不均匀。凉台沟风景林不同树种角尺度频度及均值详见表 3。由表 3 可知,样地内随机结构单元比例最大为 60.7%,其次是均匀和不均匀单元,分别为 14.2% 和 24.4%,很不均匀和很均匀结构单元所占比例较小。林地角尺度分布呈现出对称分布特征,左侧分布略大于右侧,说明样地内均匀分布单元稍多聚集分布单元。该林分平均角尺度为 0.483,属于随机分布状态。

从不同树种的空间结构单元看,以岷江冷杉为参照树的角尺度规律与整个林分的分布规律相似,

平均角尺度为 0.489,属随机分布。岷江冷杉角尺度频度呈现出典型正态分布特征,且在整个样地中岷江冷杉株数所占比例达 63%,由于岷江冷杉混交度很低,结构单元中同一物种出现的几率大,占据相同生态位使种内竞争激烈,减弱了物种聚集效应,因此,以岷江冷杉为参照树的结构单元林木分布格局在很大程度上决定了整个林分林木的分布格局。桦木为参照树的单元中没有出现均匀和很不均匀的空间结构单元,均匀结构单元和不均匀结构单元均为 25%,随机结构单元占 50%,成对称分布,平均角尺度为 0.5,属随机分布。野樱桃、红杉为参照树种的单元中随机分布的比例高达 100%。在其他树种中,除高山柏的角尺度均值属于均匀分布状态外,其他 2 个树种的角尺度均值分布格局属于团状分布。因此整个林分的空间分布格局处于随机分布状态。

表 3 岷江冷杉风景林角尺度统计

树种	角尺度					均值
	很不均匀	不均匀	随机	均匀	很均匀	
岷江冷杉	0.020	0.125	0.625	0.200	0.030	0.489
桦木	0.000	0.250	0.500	0.250	0.000	0.500
云杉	0.000	0.200	0.625	0.175	0.000	0.684
高山柏	0.000	0.130	0.500	0.370	0.000	0.430
杜鹃	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.750
野樱桃	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.500
红杉	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.500
全林分	0.003	0.244	0.607	0.142	0.004	0.483

2.3 林木大小分化程度与生长空间分析

大小比数(U_i)用以反映参照树与相邻木的大小关系的量化指标,根据比较的指标不同可分为胸径大小比数、树高大小比数、冠幅大小比数,考虑到测定树高和冠幅的精确性较低,本文采用胸径大小比数。 U 有5种取值,即0、0.25、0.5、0.75和1.00,对应于参照树所处生长状态的定性描述分别为优势、亚优势、中庸、劣势或极劣势, U 越大代表相邻木大于参照树所占比例越大,参照树生长越不占优势。但大小比数仅考虑了基株与相邻木的大小,参照树与相邻木相同条件下,相邻木对参照树的干扰程度会因两者距离不同而不同。故在此引入开敞度指标^[18],即为林内任意一株参照树到最近 n 株相邻木水平距离与它们各自高度比值之均值,用来描述参照树个体生长空间大小。开敞度的引入能弥补大小比数的不足。表4中描述了凉台沟风景林样地内各树种大小比数频度分布与均值以及开敞度的特征。

从表4中可知,全林分的大小比数均值为0.286,群落中在胸径上处于优势和亚优势地位的个体分别为24%、8.5%,处于极劣势和劣势的个体分别为23%、14.7%,处于中庸状态的个体为30.5%,胸径大小比数频度分布呈现出均衡分布特征。整个林分的平均开敞度为0.309,平均林木生长空间处于基本充足的临界状态。根据表1中林分的平均密度可推出平均每株林木所占的生长面积约为8.7 m²,进一步表明了林木生长空间基本充足,林分密度比较合理。但开敞度变化幅度较大,全林分中参照

树开敞度最小为0.12,属于以云杉为参照树的结构单元,最大为0.956,属于以岷江冷杉为参照树的结构单元,说明了不同树种以及相同树种不同个体林分生长空间分配的不均匀性。

从不同树种看,岷江冷杉作为优势树种,种群仅有约43%的个体在胸径上处于优势地位,约19%的个体处于中庸状态,其平均开敞度为0.325,处于生长空间基本充足状态,林木生长受相邻木的干扰较小。另一方面,由表1中可知岷江冷杉株数占林分株数的比例较大,在群落的垂直结构中占据主林层的有利的生态位,从径级结构特征可知及分布连续,因此,岷江冷杉种群在此林分的中间竞争中将继续保持优势地位。云杉在大小比数上处于劣势地位,劣势和极劣势的个体达到83%,处于中庸状态的个体为17%,无优势个体,其平均开敞度为0.23,林木生长空间不足,平均树高仅为4.18 m,位于群落的中下层,生长环境条件和生态位对生长不利,下层乔木对其生长构成威胁。其他5个树种由于株数较少,且径级分布不连续,样地内更新层中未发现其幼苗,且由于气候等自然因素的影响繁殖较为困难,故其自然更新将受阻。但桦木和红杉占据着群落上层胸径大于10 cm的株数较多,它仍将在群落中存续较长时间。其余其他树种位于群落下层,虽然生长空间基本充足,受到邻近林木生长的干扰较大,树种个体的数量较少,径级分布不连续,更新较困难,经过一定时间的演化,将死亡。

表4 岷江冷杉风景林大小比数和开敞度统计

树种	大小比数						开敞度		
	极劣势	劣势	中庸	亚优势	优势	均值	最大	最小	均值
岷江冷杉	0.198	0.234	0.188	0.214	0.220	0.520	0.956	0.094	0.325
桦木	0.330	0.000	0.330	0.000	0.330	0.500	0.327	0.296	0.310
云杉	0.500	0.333	0.167	0.000	0.000	0.230	0.410	0.120	0.298
高山柏	0.240	0.130	0.120	0.380	0.130	0.500	0.410	0.164	0.313
杜鹃	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.273	0.273	0.273
野樱桃	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.368	0.368	0.368
红杉	0.340	0.330	0.330	0.000	0.000	0.250	0.316	0.232	0.274
全林分	0.230	0.147	0.305	0.085	0.240	0.286	0.956	0.120	0.309

3 结论与讨论

合理的林分结构是风景林景观效益和生态效益发挥的基础,研究林分空间结构的目的是为经营提供依据。混交度、角尺度、大小分化度和开敞度4个

参数配合传统林分结构因子分析,更能够客观全面地反映出林分的空间结构特征。一般来说林分的空间结构越优,林分的功能越强、稳定性越高。研究发现,川西山地风景林的结构较为简单,从树种组成上看,林分乔木层由7个树种组成,树种密度分布差异

较大,树种结构相对单一。林分垂直结构特征明显,可分为3个林层,呈现出典型的复层林结构特征。从空间结构各参数来看,林分平均混交度为0.46,以中强度混交单元为主,所占比例达61%;平均角尺度为0.483,属于随机分布状态;林木的胸径大小比数为0.286,分布呈现出均衡分布的特征;林分平均敞开度为0.309,属于基本充足范畴。

从演替趋势来看,群落目前暂时处于相对稳定状态。岷江冷杉在株数上所占比例大,在胸径上处于优势地位,经济结构分布连续,在垂直结构中占据林层有利的生态位,平均开敞度为0.325,处于基本充足状态,林木生长受相邻木的干扰较小,在种间竞争中将继续保持优势地位。虽然云杉在株数比例上仅次于岷江冷杉,但云杉在大小比数上处于劣势,无优势个体,其平均开敞度为0.23,林木生长空间不足,位于群落的中下层,生长环境条件和生态位对生长不利,下层乔木对其生长构成较大威胁。其他5个树种由于株数较少,且径级分布不连续,自然更新较困难,经过一定时间的演化,将死亡,因此必须切实采取保护措施,保证其顺利生长,以保持物种多样性和群落的稳定性。

参考文献:

- [1] 金明仕. 森林生态学[M]. 文剑平,译. 北京:中国林业出版,1993
- [2] Vodak M C, Roberts P L, Wellman J D, *et al.* Scenic impacts of eastern hardwood management [J]. *Forest Science*, 1985, 31 (2): 289 - 301
- [3] 汤孟平. 森林空间结构分析与优化经营模型研究[D]. 北京:京

- 林业大学林学院,2003
- [4] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京:中国林业出版社,1996
- [5] 惠刚盈,胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J]. *林业科学研究*, 2001, 14(1): 177 - 181
- [6] 王 威,郑小贤,梁 雨,等. 北京八达岭林场黄栌风景林空间结构分析[J]. *东北林业大学学报*, 2008, 36(2): 25 - 26, 39
- [7] 安树青,陈兴龙,李国旗,等. 南京灵谷寺森林物种多度结构变化的研究[J]. *南京林业大学学报:自然科学版*, 1999, 35(2): 156 - 161
- [8] 安树青,洪必恭,李朝阳,等. 紫金山次生林林窗植被和环境的研究[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(3): 245 - 249
- [9] 郝日明,魏宏图. 紫金山森林植被性质与常绿落叶阔叶混交林重建可能性的探讨[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(2): 108 - 115
- [10] 周红敏,惠刚盈,赵中华,等. 林分空间结构分析中样地边界木的处理方法[J]. *林业科学*, 2009, 45(2): 1 - 5
- [11] 胡艳波,惠刚盈,戚继忠,等. 吉林蛟河天然红松阔叶林的空间结构分析[J]. *林业科学研究*, 2003, 16(5): 523 - 530
- [12] 郑丽凤,周新年,江希钿,等. 松阔混交林分空间结构分析[J]. *热带亚热带植物学报*, 2006, 14(4): 275 - 280
- [13] 苏 薇,岳永杰,余新晓. 北京山区油松天然林的空间结构分析[J]. *灌溉排水学报*, 2009, 28(1): 113 - 117
- [14] 汤孟平,唐守正,雷相东,等. 两种混交度的比较分析[J]. *林业资源管理*, 2004(4): 25 - 27
- [15] 惠刚盈, Gadow V, Albert M. 角尺度——一个描述林木个体分布格局的结构参数[J]. *林业科学*, 1999, 35(1): 37 - 42
- [16] 安慧君. 阔叶红松林空间结构研究[D]. 北京:北京林业大学,2003
- [17] 惠刚盈, Klausvon Cadow, Matthias, Albert. 一个新的林分空间结构参数——大小比数[J]. *林业科学研究*, 1999, 12(1): 1 - 6
- [18] 郝云庆,王金锡,王启和,等. 柳杉纯林改造后林分空间结构变化预测[J]. *林业科学*, 2006, 42(8): 8 - 15