

秦岭南坡锐齿栎次生林空间结构特征分析

王连贺, 党坤良*, 常 伟, 马 俊

(西北农林科技大学 林学院, 陕西杨陵 712100)

摘 要: 该研究采用坐标定位方法对秦岭南坡不同坡向锐齿栎次生林样地内胸径 $DBH \geq 5$ cm 的乔木进行调查, 记录树种名称、坐标、胸径、高度、冠幅、生长状况等因子, 运用角尺度、大小比数和混交度 3 个指数分析不同坡向锐齿栎次生林的空间结构, 探寻不同坡向锐齿栎林空间结构的形成和差异。结果显示: (1) 调查样地内物种多样性丰富, 锐齿栎重要值最大, 长势良好, 占据主要生态空间。(2) 两种坡向中, 角尺度取值为 0.5 的个体数均过半, 表明随机分布是锐齿栎次生林的主要分布方式。(3) 优势木、亚优势木、中庸木、劣势木和绝对劣势木所占比重均为 20% 左右, 表明林木大小差异不明显, 在空间结构单元中, 林木较稳定, 阳坡优势木个体数高于阴坡。(4) 两种坡向中, 混交度取值大于 0.5 林木个体分别为 84% 和 73%, 表明多数林木个体处于中度、强度和极强度混交状态。研究表明, 秦岭南坡锐齿栎次生林聚集度不高、混交良好、分化程度较高, 锐齿栎种群优势度明显, 林分整体暂时处于相对稳定状态。

关键词: 秦岭; 锐齿栎; 树种组成; 角尺度; 混交度; 大小比数

中图分类号: Q948.15⁺7

文献标志码: A

Spatial Structure Characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* Secondary Forest on South Slope of Qinling Mountains

WANG Lianhe, DANG Kunliang*, CHANG Wei, MA Jun

(Northwest A&F University, College of Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This paper analyzed the spatial structure of two *Quercus aliena* var. *acuteserrata* secondary forests between shady slope and sunny slope by the parameters (uniform angle index, mingling degree, neighborhood comparison) on south slope of Qinling Mountains. The result showed that: (1) there was abundant species diversity of *Q. aliena* var. *acuteserrata* community. *Q. aliena* var. *acuteserrata* had the biggest importance value, also in a principal ecological space. (2) The main spatial structure of *Q. aliena* var. *acuteserrata* was random distribution because of the number of uniform angle index higher than 0.5 of individual tree over 50% between the two different slopes. (3) The proportion of five different tree differentiation classes are all about 20%. There was no difference among the differentiation classes of *Q. aliena* var. *acuteserrata* community. The number of dominant tree on the sunny slope was higher than that on the shady slope. (4) The mingling of trees mostly presented moderate or high, based on the proportion was 84% and 73% of mingling over 0.5 on the sunny slope and the shady slope. Above all, *Q. aliena* var. *acuteserrata* secondary forest had low aggregation degree, good mingling degree, higher differentiation, significantly population abundance, and in a relatively stable state.

Key words: Qinling Mountains; *Quercus aliena* var. *acuteserrata*; species composition; uniform angle index;

收稿日期: 2015-05-12; 修改稿收到日期: 2015-09-14

基金项目: 林业公益性行业专项项目 (201204502)

作者简介: 王连贺 (1990—), 男, 硕士, 主要从事森林生态学研究。E-mail: 605269532@qq.com

* 通信作者: 党坤良, 副教授, 主要从事森林抚育研究。E-mail: dangkl@126.com

mingling degree; neighborhood comparison

林分空间结构是指树木在林地的分布格局及其属性在空间上的排列方式,表达的是树种、林木大小、分布等空间关系^[1],决定了林分内物种的竞争格局及其空间生态位,制约着各种生态过程^[2]。林分空间结构的研究对深入了解森林植被与所处地理环境的关系,以及林木的生长、发育、更新及演替规律具有重要意义^[3]。在经典森林经理学的研究方法中,多采用与距离无关的林分直径、树高、形数、林分密度和蓄积等表示林分空间结构^[4],很难做到对林分动态进行监测和森林经营管理的准确性。结合传统的林分结构分析方法,惠刚盈等^[5-7]提出了以相邻木为单元来构建角尺度、大小比数、混交度 3 个林分空间结构参数,分别描述了林分空间分布格局、林分个体大小分化程度和林分树种空间隔离度,提高了林分结构的解析性,能够更好的表达林木个体在水平方向和垂直方向的空间异质性,已经在很多森林类型中得到应用^[8-10]。

锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata*)为暖温带、温带植被的主要建群种之一,在海拔 1 100~1 900 m 区域广泛分布,海拔 1 300~1 700 m 分布最为集中,是秦岭林区植被垂直带谱中重要的组成部分,在水源涵养、理水功能、改良土壤、维持区域生态平衡等方面具有突出贡献^[11-13]。然而,近百年来对秦岭林区的不合理采伐形成了许多质量低下的次生林,严重制约着其生态功能的发挥,如何保护和经营当地天然次生林已经成为亟待解决的问题,对锐齿栎的研究势在必行。已有科研人员对秦岭南坡锐齿栎进行了一些研究,主要集中于生态位^[14]、群落数量^[15]、健康状况^[16]等方面,而涉及该物种空间结构方面的研究未有报道。本研究运用 SVMS 软件分析中的角尺度、大小比数和混交度分析了秦岭南坡不同坡向锐齿栎次生林空间结构,以期得出 2 种坡向中锐齿栎次生林空间结构的差异性及坡向对锐齿栎次生林空间结构的影响,探寻产生和维持这种空间结构的机理,并为物种的共存提供理论基础,对锐齿栎可持续经营具有重要意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于秦岭南坡宁东林业局高桥林场(108°24'15"~108°45'14"E,33°33'44"~33°48'18"N)海拔 1 400~1 800 m,年平均降水量 900~1 200

mm,年均气温 12.3℃,极高温 36.2℃,极低温 -13.1℃,年日照 1 638.3 h,无霜期 210 d,植物生长期 130~206 d,属中国北亚热带和暖温带的过渡地带。区内森林植被类型主要是 20 世纪 60~70 年代经过度人为干扰后形成的天然次生林,林分年龄 40 年左右。调查区植被种类以锐齿栎、油松(*Pinus tabulaeformis*)、华山松(*Pinus armandii*)、红桦(*Betula albo-sinensis*)为主要建群树种,伴生树种有漆树(*Toxicodendron vernicifluum*)、青榨槭(*Acer davidii*)、山杨(*Populus davidiana*)、灯台树(*Bothrocaryum controversum*)等。林下植被以卫矛(*Euonymus alatus*)、白檀(*Symplocos paniculata*)、木姜子(*Litsea pungens*)、悬钩子(*Rubus pungens*)、黄腺香青(*Anaphalis aureopunctata*)、龙牙草(*Agrimonia pilosa*)、茜草(*Rubia cordifolia*)为主。其土壤主要为以花岗岩、片麻岩为母质发育的山地棕色森林土,土层厚度 50 cm 左右。

1.2 样地设置与调查

研究区内的锐齿栎林多为 20 世纪 60~70 年代经过全面主伐后形成的次生林,其间散生有采伐时保留的下种母树。2014 年 5 月根据锐齿栎种群在研究区内的分布情况,在人类活动较少的地区,依据坡向选取 2 种典型地段:阳坡(A)、阴坡(B),每个地段设置一块典型样地,面积为 70 m×80 m,并将其划分 10 m×10 m 的相邻网络(小样方),以相邻网络为基本单元,用 GPS 测定样地坡度、坡向、海拔、经纬度等立地因子,并采用坐标定位方法对样地内胸径 DBH≥5 cm 的乔木进行调查,记录树种名称、坐标、胸径、高度、冠幅、生长状况、病虫害、起源等因子,图 1 为 2 块样地的林木个体分布图,其中的重叠部分表示树木萌生或聚集分布。李丽等^[17]认为,样地面积≥2 500 m² 时能够较真实地反映林木的空间分布格局,本研究中次生林样地面积完全满足林分空间结构分析的需要。样地概况见表 1。

1.3 研究方法

1.3.1 直径分布 直径分布是林分内各种大小直径林木的分配状态。当林分直径小于 8 cm 时,采用 1 cm 径阶距;当林分直径为 10~18 cm 时,采用 2 cm 径阶距;当林分直径为 20~28 cm 时,采用 4 cm 径阶距;当林分直径大于等于 40 cm 时,采用 8 cm 径阶距。这样可以保证不同径阶距整化的材积误差不超过 1%^[18]。通过计算,2 个坡向林分的平均直径

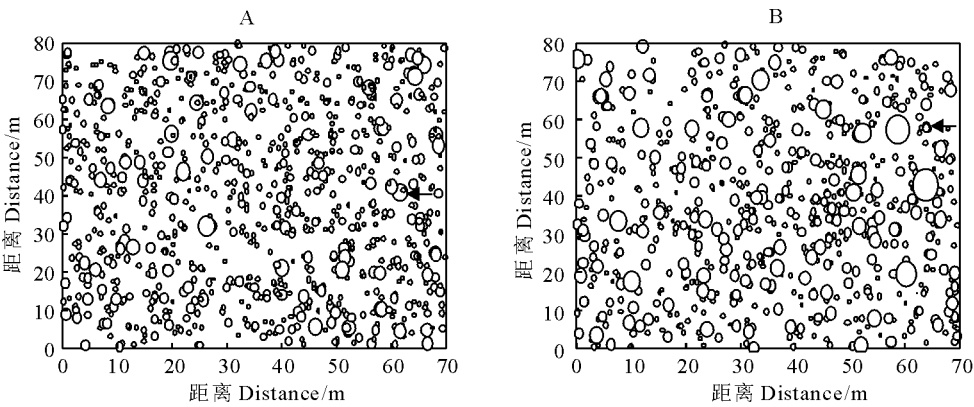


图 1 林木个体分布图
A. 阳坡;B. 阴坡;箭头示重叠部分,表示树木萌生或聚集分布
Fig. 1 The distribution of tree species
A. Sunny slope;B. Shady slope; The overlapping part indicates the initiation or aggregated distribution of the tree

表 1 样地概况
Table 1 Survey of sample plots

样地 Plot	中心坐标 Center coordinate	胸高断面面积 Basal area at breast height /(m ² /hm ²)	平均胸径 Stand average breast diameter /cm	平均树高 Stand average height/m	中心海拔 Centre altitude/m	坡向 Aspect	坡位 Slope position	坡度 Slope gradient
A	108.4350°E 33.2734°N	30.23	11.58	11.23	1 587	阳坡 Sunny slope	中坡位 Middle slope	28
B	108.4339°E 33.2719°N	34.12	12.87	12.51	1 659	阴坡 Shady slope	中坡位 Middle slope	32

在 10~18 cm 之间,所以采用 2 cm 径阶距。

1.3.2 重要值(IV)的计算 $IV=[\text{相对高度}(\text{RHG},\%)+\text{相对胸径}(\text{RDBH},\%)+\text{相对多度}(\text{RAD},\%)]/3$

$$\text{RGH}=\text{Hi}/\sum \text{Hi} \quad \text{RDBH}=\text{Di}/\sum \text{Di}$$
$$\text{RAD}=\text{Ai}/\sum \text{Ai}$$

式中,Hi、Di、Ai 分别为某种植物的高度(m)、胸径(cm)和多度; $\sum \text{Hi}$ 、 $\sum \text{Di}$ 、 $\sum \text{Ai}$ 依次为所有植物的总高度(m)、总胸径(cm)和总多度。

1.3.3 空间参数 (1)角尺度:指 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。计算公式为:

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

式中,当第 j 个 α 角小于标准角 α_0 时, Z_{ij} 等于 1,否则等于 0。 W_i 的可能取值为:0、0.25、0.5、0.75、1,标准角可能的取值范围: $60^{\circ}\leq\alpha_0\leq90^{\circ}$, 72° 是一个最优标准角^[19-20]。角尺度的平均值($\overline{W}$),当 $0.475\leq\overline{W}\leq0.517$ 时为随机分布,当 $\overline{W}<0.475$ 时为均匀分布,当 $\overline{W}>0.517$ 时为聚集分布。

(2)大小比数:被定义为大于参照树的相邻木数占所考察的全部最近相邻木的比例。可分为树高大小比数、冠幅大小比数和胸径大小比数,其计算公

式为:

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

式中,当相邻木 j 比参照树 i 直径小时, K_{ij} 等于 0,否则等于 1。 U_i 的可能取值为:0、0.25、0.5、0.75、1,对应于参照树在 4 株相邻木中不同的优势程度,即优势、亚优势、中庸、劣势、绝对劣势。

(3)混交度:树种混交度是指参照树 i 的 4 株最近相邻木中,与参照树不属于同种的个体所占的比例。计算公式为:

$$M_i=1/4\sum_{j=1}^n V_{ij}$$

式中,当参照树 i 与第 j 株相邻木不同种时, V_{ij} 等于 1,否则等于 0。考虑参照树周围的 4 株相邻木时, M_i 的可能取值为:0、0.25、0.5、0.75、1,对应的描述为:零度、弱度、中度、强度、极强度混交。

本研究中,上述 3 个空间参数的计算利用 SVMS 软件分析,为避免边缘效应的影响,采用距离缓冲区法^[21-22],以边界外 5 m 作为缓冲区。

2 结果与分析

2.1 锐齿栎次生林的林分构成

由表 2 可知,秦岭南坡锐齿栎次生林内,阳坡样

地乔木层种群共 17 个,林木个体数为 926 株,胸高断面积为 30.23 m²/hm²,其中锐齿栎种群密度最高,占样地的 47.7%,为该林分优势种,林分内针叶树种有油松、华山松和铁杉(*Tsuga chinensis*),占 9.4%,阔叶树种占 90.6%。根据每公顷断面积可得到树种组成式:5 锐 1 油 1 杨 3 阔杂+华-铁;阴坡样地 乔木层种群共 16 个,林木个体数为 756 株,胸高断面积为 34.12 m²/hm²,其中锐齿栎种群密度最高,占样地的 55.6%,为该林分优势种,林分内无针叶树种。根据每公顷断面积可得到树种组成式为:7 锐 1 杨 2 阔杂。调查样地内物种多样性较丰富,锐齿栎种群的重要值和分布范围最大,长势良

好,占据林分主要生态空间。

2.2 锐齿栎次生林的径阶结构

由图 2 可以看出,在秦岭南坡不同坡向的锐齿栎次生林中,林木株数均随径阶的增大而逐渐减小,所属径阶为 6~12 cm 的林木个体最多,大于 22 cm 的林木个体较少,2 种坡向中,尽管径阶在 26 cm 和 28 cm 呈现小幅度增长,但从整体上看,锐齿栎次生林的直径分布特征基本符合典型的异龄林直径分布特征;2 种坡向中,中小径阶林木个体所占比例较高,有利于维持锐齿栎群落演替的稳定性;与阳坡相比,阴坡林木个体株数明显较低,但其大径阶个体较多,导致了阴坡总胸高断面积大于阳坡。

表 2 锐齿栎次生林乔木层树种组成
Table 2 Species composition in the natural secondary forest

树种 Species	样地 A Plot A			样地 B Plot B		
	株数 Number	胸高断面积 Basal area at breast height/(m ² ·hm ⁻²)	重要值 IV	株数 Number	胸高断面积 Basal area at breast height/(m ² ·hm ⁻²)	重要值 IV
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	442	15.50	48.66	420	23.57	61.33
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	47	0.99	4.33	55	1.36	5.81
红桦 <i>Betula albo-sinensis</i>	21	1.34	2.68	13	1.03	0.83
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	9	0.079	0.64	10	0.18	0.97
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	36	0.85	3.41	15	0.33	1.55
四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i>	46	0.70	3.78	34	0.41	2.99
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	72	1.34	5.84	82	1.87	8.49
野樱桃 <i>Cerasus serrula</i>	35	0.38	2.54	13	0.14	1.02
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	38	0.72	3.31	26	1.24	3.41
山杨 <i>Populus davidiana</i>	31	2.60	6.81	27	2.48	5.15
油松 <i>Pinus tabulae formis</i>	58	3.17	7.87	—	—	—
椴树 <i>Tilia tuan</i>	21	0.34	1.72	13	0.40	1.39
三桠乌药 <i>Lindera obtusiloba</i>	12	0.17	0.87	13	0.11	1.79
华山松 <i>Pinus armandii</i>	29	1.26	3.36	—	—	—
野核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	11	0.22	1.31	8	0.07	2.75
五角枫 <i>Acer mono</i>	13	0.11	0.62	14	0.26	0.69
铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	5	0.46	2.25	—	—	—
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	—	—	—	10	0.56	1.49
茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	—	—	—	3	0.11	0.34

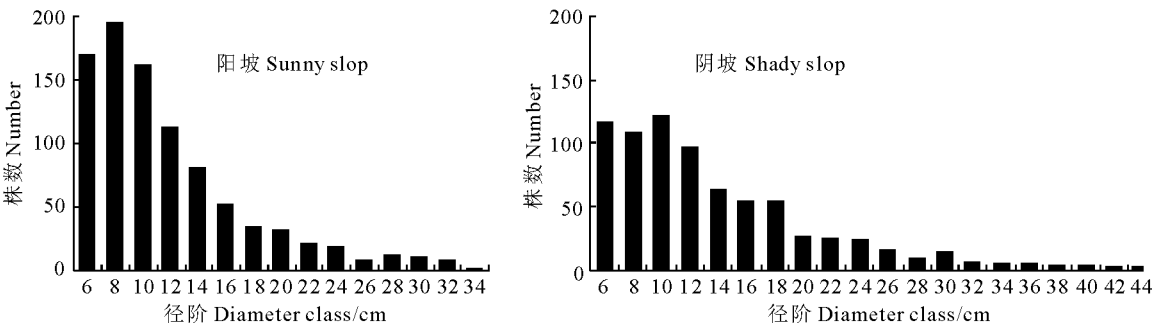


图 2 不同坡向林分直径分布图
Fig. 2 DBH class distribution of stands on different slopes

2.3 锐齿栎次生林空间结构特征

2.3.1 林分空间分布格局 由表 3 可知,锐齿栎天然次生林在 2 种坡向中角尺度取值为 0.5 的林木个体所占比例分别为 57%和 59%,表明随机分布是秦岭南坡锐齿栎次生林中大多数林木个体的主要分布方式;全林分平均角尺度为 0.530 和 0.520,说明锐齿栎次生林局部出现的团状结构带动林分整体呈轻度聚集分布,其中阳坡聚集度高于阴坡;从各树种的平均角尺度来看,在阳坡,只有五角枫为均匀分布,红桦、山杨、油松为随机分布,其他树种均为聚集分布,在阴坡,山杨、三桠乌药、五角枫为均匀分布,四照花、青榨槭、柳、茶条槭为随机分布,其余树种为聚集分布。从各树种分布频率可看出:2 种坡向中,均匀分布与聚集分布所占比例相似,分别为 19%、24%和 18%、22%;主要成林树种锐齿栎非聚集分布个体所占比例均大于 70%,先锋树种山杨和红桦均主要为随机分布,阳性树种油松主要为均匀分布和随机分布,长势良好,喜湿树种旱柳位于阴坡样地下部,均匀分布和随机分布个体分别占 30%和 50%;2 块样地中,除了个体较少的铁杉和野核桃外,其余树种为随机分布的比例均在 50%以上。

由图3可以看出,调查样地的角尺度随着径阶

的增大呈现先增大后减小的趋势,不同坡向角尺度的最大值出现在不同径阶,其中阳坡角尺度的最大值出现在 $DBH=10\text{ cm}$,而阴坡角尺度最大值出现在 $DBH=12\text{ cm}$;当 $DBH=6\text{ cm}$ 时,伴生树种径阶均小于 18 cm,表明锐齿栎林的聚集度主要是由伴生树种引起的。

2.3.2 林分个体大小分化程度 由表 4 可知,调查样地中,林分的个体大小分布较为均匀,林木分化程度较高,在空间结构单元中,不同等级的林木分布频率相差不大,优势木、亚优势木、中庸木、劣势木和绝

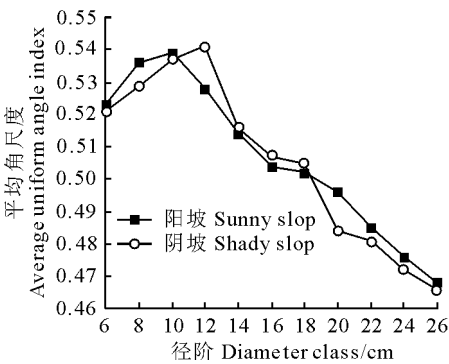


图 3 不同坡向各径阶林木平均角尺度分布
Fig. 3 The average uniform angle of each diameter class trees on different slopes

表 3 不同坡向各树种角尺度及其频率分布

Table 3 Uniform angle index(W) and its frequency distribution of each species on different slopes

树种 Species	阳坡角尺度 Sunny slop W						阴坡角尺度 Shady slop W					
	0	0.25	0.5	0.75	1	平均值 $\bar{W}$	0	0.25	0.5	0.75	1	平均值 $\bar{W}$
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.01	0.20	0.53	0.19	0.07	0.528	0.01	0.17	0.60	0.14	0.08	0.528
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	0	0.21	0.57	0.13	0.09	0.525	0	0.14	0.54	0.28	0.04	0.555
红桦 <i>Betula albo-sinensis</i>	0	0.15	0.71	0.14	0	0.498	0	0	0.61	0.23	0.16	0.637
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	0	0	0.67	0.22	0.11	0.610	0	0.23	0.53	0.12	0.12	0.533
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	0	0.14	0.69	0.09	0.08	0.528	0	0.20	0.53	0.20	0.07	0.535
四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i>	0	0.20	0.59	0.13	0.08	0.523	0.03	0.21	0.50	0.20	0.06	0.513
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	0	0.15	0.60	0.18	0.07	0.543	0.02	0.15	0.65	0.16	0.02	0.503
野樱桃 <i>Cerasus serrula</i>	0	0.14	0.60	0.20	0.06	0.546	0	0.16	0.67	0	0.17	0.545
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	0	0.16	0.61	0.18	0.05	0.530	0	0.08	0.60	0.28	0.04	0.570
山杨 <i>Populus davidiana</i>	0	0.22	0.65	0.13	0	0.478	0	0.30	0.55	0.11	0.04	0.473
油松 <i>Pinus tabulae formis</i>	0	0.20	0.62	0.14	0.04	0.505	—	—	—	—	—	—
椴树 <i>Tilia tuan</i>	0	0.05	0.81	0.04	0.10	0.548	0	0.25	0.50	0.08	0.17	0.543
三桠乌药 <i>Lindera obtusiloba</i>	0	0.17	0.58	0.25	0	0.520	0	0.33	0.50	0.17	0	0.460
华山松 <i>Pinus armandii</i>	0	0.17	0.59	0.10	0.14	0.553	—	—	—	—	—	—
野核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	0	0	0.55	0.36	0.09	0.635	0	0.13	0.40	0.40	0.07	0.603
五角枫 <i>Acer mono</i>	0	0.46	0.54	0	0	0.385	0	0.23	0.69	0.08	0	0.463
铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	0	0.20	0.40	0.40	0	0.550	—	—	—	—	—	—
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	—	—	—	—	—	—	0	0.30	0.50	0.10	0.10	0.50
茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	—	—	—	—	—	—	0	0	1	0	0	0.50
全林分 Total	0	0.19	0.57	0.17	0.07	0.530	0.01	0.18	0.59	0.16	0.06	0.520

对劣态木所占比重均在 20%左右,这表明林分整体较为稳定。从全林分平均大小比数来看,阳坡锐齿栎次生林主要以亚优势木为主,阴坡主要以中庸木为主;各树种平均大小比数取值范围在 0.085~0.882,表明林分内树种间的大小分化存在很大差异。其中,山杨在调查样地中均为优势木,红桦、锐齿栎均为亚优势木,阳坡特有树种铁杉、油松和华山松分别为优势木、亚优势木和中庸木,阴坡特有树种旱柳和茶条槭分别为亚优势木和中庸木;不同坡向中,漆树的平均大小比数不同,在阳坡为中庸木,在阴坡为优势木,表明同一个体在不同生境中的生存对策不同。从各树种的大小比数频率可以看出:在阳坡,山杨、铁杉和红桦以优势木为主,分别占 70%、60%和 38%;油松以亚优势木为主,占 31%;锐齿栎、灯台树和青榨槭以中庸木为主,分别占 24%、28%和 26%;鹅耳枥、四照花和山核桃以劣态木为主,分别占 36%、33%和 27%;千金榆、野樱桃、漆树、椴树、三桠乌药、华山松和五角枫以绝对劣态木为主,分别占 44%、37%、31%、48%、42%、28%和 63%。在阴坡,锐齿栎、红桦和山杨以优势木为主,分别占 25%、54%、52%;漆树和茶条槭以亚优势木为主,分别占 40%和 50%;其余树种以中庸木、

劣态木和绝对劣态木为主,这些林木个体受相邻树种的影响和压迫而生长不佳或自然枯损。调查样地中,优势木多为主要优势种和先锋树种,劣态木多为伴生树种。

由图 4 可以看出,除少数树种以外,大多数树种胸径大小比数与树高大小比数基本一致,变化幅度较小,能反映出该林分在垂直方向上的分化。除去个别树种外,总体上树高大小比数取值范围更大,且大多数树种的树高大小比数较其胸径大小比数大,说明树木在垂直方向的竞争较横向竞争更为激烈。大多数树种冠幅大小比数较其胸径大小比数相比有较大的提升。因鹅耳枥为小型乔木树种,枝叶茂密,且为该林分中的劣态木,在该林分中处于被压迫状态,这就导致了在两种坡向中,鹅耳枥树高大小比数均小于其胸径大小比数和冠幅大小比数。

2.3.3 林分树种空间隔离度 由表 5 可知,秦岭南坡锐齿栎次生林在 2 种坡向中混交度取值为 0、0.25 的频率很低,其频率之和仅为 0.16 和 0.27,而取值 0.5、0.75 和 1 的频率很高,其频率之和为 0.84 和 0.73,说明在该次生林中,林木大多属于中度、强度和极强度混交。从调查样地中角尺度的平均值($\bar{M}$)可以看出,阳坡林分平均混交度高于阴坡;优势

表 4 不同坡向各树种大小比数及其频率分布

Table 4 Neighborhood comparison of DBH(U) and its frequency distribution of each species on different slopes

树种 Species	阳坡大小比数 Sunny slop U						阴坡大小比数 Shady slop U					
	0	0.25	0.5	0.75	1	平均值 $\bar{U}$	0	0.25	0.5	0.75	1	平均值 $\bar{U}$
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.23	0.21	0.24	0.19	0.13	0.445	0.25	0.25	0.20	0.18	0.12	0.417
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	0.09	0.21	0.28	0.19	0.23	0.565	0.11	0.11	0.24	0.32	0.22	0.608
红桦 <i>Betula albo-sinensis</i>	0.38	0.24	0.19	0.05	0.14	0.333	0.54	0.23	0	0.08	0.15	0.267
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	0	0.22	0.11	0.23	0.44	0.723	0.17	0.06	0.18	0.06	0.53	0.680
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	0.14	0.17	0.11	0.36	0.22	0.588	0.07	0.20	0.20	0.20	0.33	0.630
四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i>	0.06	0.09	0.26	0.33	0.26	0.660	0	0.03	0.24	0.29	0.44	0.785
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	0.08	0.19	0.26	0.23	0.24	0.590	0.06	0.17	0.23	0.23	0.31	0.640
野樱桃 <i>Cerasus serrula</i>	0.03	0.06	0.17	0.37	0.37	0.748	0	0.17	0.08	0.33	0.42	0.750
漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	0.08	0.16	0.24	0.21	0.31	0.628	0.28	0.40	0.12	0.12	0.08	0.330
山杨 <i>Populus davidiana</i>	0.70	0.26	0.04	0	0	0.085	0.52	0.33	0.04	0.07	0.04	0.195
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.31	0.36	0.12	0.09	0.12	0.338	—	—	—	—	—	—
椴树 <i>Tilia tuan</i>	0.09	0.24	0	0.19	0.48	0.683	0.08	0.16	0.08	0.18	0.50	0.715
三桠乌药 <i>Lindera obtusiloba</i>	0	0.16	0.17	0.25	0.42	0.733	0	0	0.33	0.17	0.50	0.793
华山松 <i>Pinus armandii</i>	0.14	0.21	0.20	0.17	0.28	0.560	—	—	—	—	—	—
野核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	0.18	0.18	0.18	0.27	0.19	0.528	0	0.06	0.14	0.33	0.47	0.803
五角枫 <i>Acer mono</i>	0	0.07	0.15	0.15	0.63	0.835	0	0.08	0	0.23	0.69	0.882
铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	0.60	0.20	0.20	0	0	0.150	—	—	—	—	—	—
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	—	—	—	—	—	—	0.30	0.20	0.40	0	0.10	0.350
茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	—	—	—	—	—	—	0	0.50	0	0.25	0.25	0.563
全林分 Total	0.21	0.20	0.21	0.19	0.19	0.487	0.19	0.19	0.20	0.20	0.22	0.518

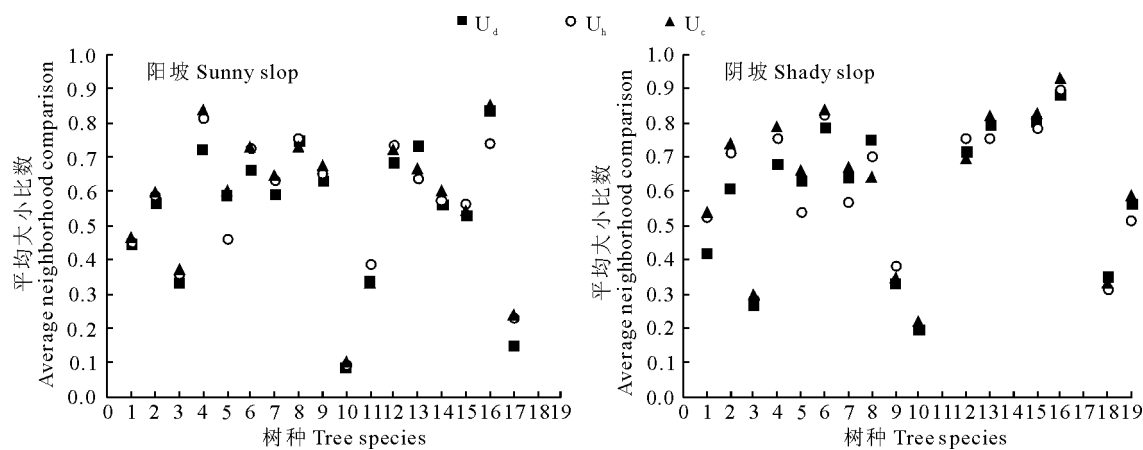


图4 不同坡向胸径(U_d)、树高(U_h)与冠幅(U_c)的平均大小比数

1. 锐齿栎;2. 灯台树;3. 红桦;4. 千金榆;5. 鹅耳枥;6. 四照花;7. 青榨槭;8. 野樱桃;9. 漆树;10. 山杨;11. 油松;
12. 椴树;13. 三桠乌药;14. 华山松;15. 野核桃;16. 五角枫;17. 铁杉;18. 旱柳;19. 茶条槭

Fig. 4 Neighborhood comparison of average DBH(U_d), average height(U_h) and average canopy(U_c)

1. *Q. aliena* var. *acuteserrata*;2. *Bothrocaryum controversum*;3. *Betula albo-sinensis*;4. *Carpinus cordata*;
5. *Carpinus turczaninowii*;6. *Dendrobenthamia japonica*;7. *Acer davidii*;8. *Cerasus serrula*;9. *Toxicodendron vernici fluum*;
10. *Populus davidiana*;11. *Pinus tabulaeformis*;12. *Tilia tuan*;13. *Lindera obtusiloba*;14. *Pinus armandii*;
15. *Juglans cathayensis*;16. *Acer mono*;17. *Tsuga chinensis*;18. *Salix matsudana*;19. *Acer ginnala*

表5 不同坡向各树种混交度及其频率分布

Table 5 Mingling(M) and its frequency distribution of each species on different slopes

树种 Species	阳坡混交度 Sunny slop M						阴坡混交度 Shady slop M					
	0	0.25	0.5	0.75	1	平均值 $\bar{M}$	0	0.25	0.5	0.75	1	平均值 $\bar{M}$
锐齿栎 <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i>	0.09	0.22	0.36	0.25	0.08	0.503	0.15	0.34	0.31	0.15	0.05	0.402
灯台树 <i>Bothrocaryum controversum</i>	0	0	0.13	0.27	0.60	0.868	0	0	0.09	0.17	0.74	0.913
红桦 <i>Betula albo-sinensis</i>	0	0	0	0.29	0.71	0.928	0	0	0	0	1	1
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	0	0	0.11	0.22	0.67	0.890	0	0	0	0.24	0.76	0.940
鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	0.08	0.05	0.17	0.14	0.56	0.763	0	0	0	0.67	0.33	0.832
四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i>	0	0.02	0.17	0.33	0.48	0.817	0	0	0	0.15	0.85	0.963
青榨槭 <i>Acer davidii</i>	0	0.03	0.04	0.29	0.64	0.885	0	0	0.11	0.39	0.50	0.847
野樱桃 <i>Cerasus serrula</i>	0	0	0.09	0.11	0.80	0.927	0	0	0	0.33	0.67	0.918
漆树 <i>Toxicodendron vernici fluum</i>	0	0	0	0.16	0.84	0.960	0	0	0.12	0.36	0.52	0.850
山杨 <i>Populus davidiana</i>	0	0	0.19	0.35	0.46	0.817	0	0	0	0.22	0.78	0.945
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0	0	0.05	0.36	0.59	0.885	—	—	—	—	—	—
椴树 <i>Tilia tuan</i>	0	0.19	0	0.19	0.62	0.810	0	0	0	0.5	0.5	0.875
三桠乌药 <i>Lindera obtusiloba</i>	0	0	0.50	0.17	0.33	0.707	0	0	0	0.33	0.67	0.917
华山松 <i>Pinus armandii</i>	0	0.07	0.24	0.17	0.52	0.485	—	—	—	—	—	—
野核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	0	0	0	0.18	0.82	0.955	0	0	0	0.13	0.87	0.968
五角枫 <i>Acer mono</i>	0	0	0	0.15	0.85	0.963	0	0	0	0.08	0.92	0.980
铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	0	0	0	0	1	1	—	—	—	—	—	—
旱柳 <i>Salix matsudana</i>	—	—	—	—	—	—	0	0	0	0	1	1
茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	—	—	—	—	—	—	0	0	0.75	0	0.25	0.625
全林分 Total	0.04	0.12	0.22	0.25	0.37	0.698	0.08	0.19	0.20	0.20	0.33	0.637

树种锐齿栎的平均混交度大大拉低了全林分平均混交度,表明林分平均混交度取值由优势树种主导。从各树种的混交度频率可以看出:在阳坡,锐齿栎和三桠乌药以中度混交为主,分别占36%和50%,其余树种均以极强度混交为主;在阴坡,锐齿栎以弱度混交为主,茶条槭以中度混交为主,其余树种均以强度、极强度混交为主,这说明了秦岭南坡锐齿栎次生林林分混交状况良好,种群隔离度较高,林分稳定。

3 结论与讨论

通过角尺度、大小比数、混交度 3 个林分空间结构参数对秦岭南坡锐齿栎次生林空间结构进行分析,结果表明:调查样地内物种多样性较丰富,锐齿栎种群的重要值和分布范围最大,长势良好,占据林分主要生态空间。样地内林木株数均随径阶的增大而逐渐减小,从整体上看,锐齿栎次生林的直径分布特征基本符合典型的异龄林直径分布特征,这与马映栋等^[21]的研究结果一致。

已有研究表明,自然条件下,群落结构中的聚集与否往往是种群生物学特性与环境相互作用的结果^[22],通常由种内或种间竞争、种子散布限制等生物学特性和地形、土壤、水分、光照等环境异质性共同决定^[23-25]。而本研究的所有坡向中,除个别树种外,主要树种锐齿栎和林分整体的平均角尺度均大致相同,表明对秦岭南坡锐齿栎次生林而言,坡向并不是影响群落结构呈现聚集分布的主要因素。随机分布是所有坡向锐齿栎次生林中林木个体的主要分布方式,其刻画了秦岭南坡锐齿栎整体“大分散”的分布特点,说明锐齿栎次生林群落中各树种受到的环境压力并不大。从所有坡向的林分平均角尺度来看,林分均为轻度聚集分布,这是由锐齿栎次生林中局部出现的团状结构带动的,如本研究中的主要树种锐齿栎聚集分布个体分别占总体的 21% 和 18%,由于其种子较大(成熟种子直径 1~1.5 cm,质量 3~4 g)^[26]造成的扩散限制^[27]是锐齿栎个体呈聚集分布的主要因素,另外其林下更新常依赖林窗、林隙等透光区进行局部更新^[28],天然次生林成簇萌生等特点加剧了林内幼龄林的聚集程度。以往关于种群空间格局分布的研究中,受种子传播影响,低龄个体往往呈现聚集分布,随年龄增长,树木对光照因子和营养条件等的需求加大,加上自疏及他疏作用的影

响,种群的聚集程度下降,最终表现为随机或均匀分布^[29-30],本研究中锐齿栎的林分结构也大致符合这一特点, $DBH > 14$ cm 的林木个体开始由聚集分布向随机分布过渡,而 $DBH < 14$ cm 的林木个体呈聚集分布,表明这种聚集是由锐齿栎与伴生树种的生存策略决定的。而不同坡向角尺度的最大值出现在不同径阶,与阳坡相比,阴坡个体株数较低,且大径阶个体较多,胸高断面积较大,这就导致了阴坡角尺度出现的最大值 DBH 大于阳坡。

从全林分平均大小比数来看,阳坡锐齿栎次生林主要以亚优势木为主,阴坡主要以中庸木为主。在调查样地中锐齿栎占据林分主要生态空间,为优势树种,而锐齿栎为喜光树种,多生于阳坡,阳坡地形、光照、水肥和土壤等环境异质性均优于阴坡,因此阳坡调查样地的锐齿栎林生长更具优势;不同坡向样地全林分平均混交度取值不同,阳坡样地平均混交度取值大于阴坡,阳坡生物多样性较阴坡丰富,光照条件良好,树种组成更复杂,林分整体结构更加稳定,所以阳坡样地林分整体混交状况更好。

本研究所分析的锐齿栎林是 20 世纪 60~70 年代经人为干扰后形成的天然次生林,林分年龄为 40 年左右,并非是空间结构最优的林分。一般认为同地段最优的林分空间结构应该是未经人为干扰的原始森林的空间结构。若要调整现有的林分空间结构,还应该调查同地段的原始森林的空间结构,对比分析两者在林分空间结构方面的差异,从而制定相应的秦岭南坡锐齿栎次生林的空间结构目标与调整措施。一般来说林分空间结构越优,林分生态功能越强,林分稳定性越高。在优化林分空间结构的森林经营措施中,可以根据平均角尺度以及各树种的角尺度、混交度、大小比数等的取值和分布情况,分树种确定采伐木^[31],逐步调整林分的空间结构,使其接近林分的最优空间结构。

参考文献:

- [1] ZHAO Y Y(赵洋毅), WANG K Q(王克勤), CHEN Q B(陈奇伯), *et al.* Spatial structure characteristics of typical natural evergreen broad-leaved forest features of southwest subtropical area, China[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2012, **32**(1): 187-192(in Chinese).
- [2] XIAO D N(肖笃宁), BU R C(布仁仓), LI X ZH(李秀珍). Spatial ecology and landscape heterogeneity[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1997, **17**(5): 3-11(in Chinese).
- [3] WANG Q(王庆), LI W ZH(李卫忠), DENG H J(邓宏兼), *et al.* Spatial structure of *Pinus tabulaeformis* mixed forest in Huanglong Mountain[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2014, **42**(7): 32-35(in Chinese).
- [4] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2009.
- [5] HUI G Y(惠刚盈). The neighborhood pattern—a new structure parameter for describing distribution of forest tree position[J]. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), 1999, **35**(1): 39-44(in Chinese).

- [6] HUI G Y(惠刚盈), KLAUS VON GADOW, MATTHIAS ALBERT. A new parameter for stand spatial structure-neighborhood comparison[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 1999, **12**(1): 1—6(in Chinese).
- [7] HUI G Y(惠刚盈), HU Y B(胡艳波). Measuring species spatial isolation in mixed forests[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 2004, **14**(1): 23—27(in Chinese).
- [8] LÜ L ZH(吕林昭), KANG X G(亢新刚), GAN J(甘敬). Change in naturally spatial pattern of larch plantation in Changbai Mountains[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2008, **36**(3): 12—15(in Chinese).
- [9] YU B(玉宝), ZHANG Q L(张秋良), WANG L M(王立明). Comparative study on characteristics of stand structures in *Larix gmelinii* forests of different origin[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2013, **41**(2): 18—21(in Chinese).
- [10] XIA F C(夏福才), ZHAO X H(赵秀海), et al. Stand structure of *Pinus tabulaeformis* forests on eastern Hunsandake Sandy Land, Inner Mongolia Plateau[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2010, **38**(11): 7—9(in Chinese).
- [11] DANG K L(党坤良), LEI R D(雷瑞德). Water-source conservation and regulating efficacy of different forests at Huoditang forest region in The Qinling Mountains[J]. *Journal of Soil Erosion and Soil, and Water Conservation* (土壤侵蚀与水土保持学报), 1995, **1**(1): 79—84(in Chinese).
- [12] SUO A N(索安宁), JU T ZH(巨天珍), et al. Analysis of biodiversity characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolong in Gansu[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2004, **24**(10): 1 877—1 881(in Chinese).
- [13] LIU G Q(刘广全), NI W J(倪文进), LIU H F(刘慧芳), et al. Eco-environment and nutrient accumulation of sharp tooth oak stands in southern slope of Mt. Qinling[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13**(5): 513—518(in Chinese).
- [14] ZHAO Y H(赵永华), LEI R D(雷瑞德), et al. Niche characteristics of plant populations in *Quercus aliena* var. *acuteserrata* stands in Qingling Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(6): 913—918(in Chinese).
- [15] KANG Y X(康永祥), ZHANG J Q(张景群), et al. The preliminary study on the seed-plant flora of the natural sharp-tooth oak forest communities in Qinling Mountain[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 1999, **19**(5): 32—36(in Chinese).
- [16] GUO Q J(郭秋菊), WANG D X(王得祥), BAO J C(保积存). Forest health assessment and analysis of important relative indicators of *Quercus aliena* var. *acuterrata* in Huoditang of Qingling Mountains[J]. *Journal of Northwest Forestry University* (西北林学院学报), 2013, **28**(1): 19—25(in Chinese).
- [17] LI L(李丽), HUI SH R(惠淑荣), HUI G Y(惠刚盈), et al. A study on the minimum area of forest spatial investigation[J]. *Forest Resources Management* (林业资源管理), 2007, (2): 47—51(in Chinese).
- [18] ZHANG ZH J(张正健), LIU ZH H(刘志红), GUO Y F(郭艳芬), et al. The application of partial least squares to tibet's grassland biomass monitoring by remote sensing[J]. *Acta Agrestia Sinica* (草地学报), 2009, **17**(6): 735—739(in Chinese).
- [19] HUI G Y(惠刚盈), KLAUS VON G, HU Y B(胡艳波). The optimum standard angle of the uniform angle index[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 2004, **17**(6): 687—692(in Chinese).
- [20] XING H(邢晖), LI F R(李凤日), JIA W W(贾炜玮), et al. Spatial structure of natural mixed forests in Daxing'an Mountain[J]. *Journal of Northeast Forestry University* (东北林业大学学报), 2014, **42**(6): 6—10(in Chinese).
- [21] MA Y D(马映栋), LIU W ZH(刘文桢), et al. Change analysis of spatial pattern and correlation for *Quercus aliena* var. *acuterrata* forest population in Xiaolong Mountains[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2014, **34**(9): 1 878—1 886(in Chinese).
- [22] KANG H J(康华靖), CHEN Z L(陈子林), LIU P(刘鹏), et al. The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(1): 389—396(in Chinese).
- [23] GUO Y X(郭彦鑫), KANG B(康冰), LI G(李刚), et al. Species composition and point pattern analysis of standing trees in secondary *Betula albo-sinensis* forest in Xiaolong Mountain of west Qinling Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(10): 2 574—2 580(in Chinese).
- [24] GUARÍN J R, DEL VALLE JORGE I, SIERRA C A. Establishment phase, spatial pattern, age, and demography of *Oenocarpus bataua* var. *bataua* can be a legacy of past loggings in the Colombian Andes[J]. *Forest Ecology and Management*, 2014, 328: 282—291.
- [25] HUO M M(霍萌萌), GUO D G(郭东罡), et al. Tree community characteristics and spatial patterns of the forms *Pinus tabuliiformis*-*Quercus wutaishanica* in Lingkong Mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2014, **34**(20): 5 925—5 935(in Chinese).
- [26] 毕润成. 生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 96—97.
- [27] HUBBELL S P, FOSTER F B. Diversity of canopy trees in a neotropical forest and implications for conservation[M]//SUTTON S L, WHITMORE T C, CHADWICK A C. Tropical Rain Forest. Ecology and Management. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1983: 25—41.
- [28] LIU F(刘峰), CHEN W L(陈伟烈), HE J SH(贺金生). Population structure and regeneration of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* in Shennongjia[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology* (植物生态学报), 2000, **24**(4): 396—410(in Chinese).
- [29] LAAKA-LINDBERG S, HEDDERSON T A, LONGTON R E. Rarity and reproductive characters in the *British hepatic* flora[J]. *Lindbergia*, 2000, **25**(2): 78—84.
- [30] ZHANG J(张健), HAO ZH Q(郝占庆), SONG B(宋波), et al. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(8): 1 681—1 687(in Chinese).
- [31] HU Y B(胡艳波), HUI G Y(惠刚盈). A discussion on forest management method optimizing forest spatial structure[J]. *Forest Research* (林业科学研究), 2006, **19**(6): 1—8(in Chinese).