

# 辽东山区天然次生阔叶混交林空间结构的研究

刘红民, 邢兆凯, 顾宇书, 高英旭, 韩友志

(辽宁省林业科学研究院, 辽宁 沈阳 110032)

**摘要:**用空间结构参数——角尺度、混交度和大小比数分析了辽东山区天然次生阔叶混交林空间结构。结果表明:辽东山区天然次生阔叶混交林林分处于相对稳定状态,整体上表现出群落处于较高演替阶段的属性特征。林分平均角尺度在0.479~0.524之间,属于随机分布或轻度的团状分布;平均混交度在0.699~0.828之间,为强度混交或极强度混交;胸径大小比数呈现出均衡分布的特征,整个林分树种的稳定性较高。

**关键词:**次生林; 阔叶混交林; 空间结构; 辽东山区

**中图分类号:**S750      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2012)03-0150-05

Spatial Structure of Natural Secondary Broad-leaved Mixed Forest in  
Eastern Mountainous Area of Liaoning Province

LIU Hong-min, XING Zhao-kai, GU Yu-shu, GAO Ying-xu, HAN You-zhi

(Liaoning Academy of Forestry Sciences, Shenyang, Liaoning 110032, China)

**Abstract:** This paper used spatial parameters (uniform angle index, mingling and neighborhood comparison) to study the spatial structure of natural secondary broad-leaved mixed forest in eastern mountainous areas of Liaoning Province, China. The results showed that the natural secondary broad-leaved mixed forest in area was in a fairly stable period and the communities were in the higher successional stage. The mean values of uniform angle index ranged from 0.479 to 0.524, and the pattern of horizontal distribution was random or of slight cluster. The mean values of mingling ranged from 0.699 to 0.828, and the mingling intensity was intensive or most intensive. The distribution of the neighborhood comparison based on DBH was balanced, and the tree species was in a relatively stable state.

**Key words:** secondary forest; broad-leaved mixed forest; spatial structure; eastern mountainous area of Liaoning Province

次生林是原始林经过干扰后在次生裸地上形成的森林。次生林可以认为是原始森林生态系统的一种退化<sup>[1]</sup>。它既保持着原始森林的物种成分与生境,又与原始森林在结构组成、林木生长、生产力、林分环境和生态功能等诸多方面有着显著的不同<sup>[2]</sup>。辽东山区现有次生林 $1.20 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,是辽东山区森林资源的重要组成部分,已占该区森林面积的84%<sup>[3]</sup>。空间结构是林分的重要特征,对于描述林分状态及变化有特别重要的意义<sup>[4]</sup>,也是近年来的

研究热点<sup>[5-9]</sup>。森林空间结构调控是森林经营活动的本质<sup>[10]</sup>。角尺度、混交度和大小比数是森林空间结构研究常用的3个参数,是开展健康森林经营、发展近自然林业中制订森林经营规划方案的重要参考依据<sup>[11-12]</sup>。目前对辽东山区天然次生林空间结构的研究报道极少,因此有必要对辽东山区天然次生阔叶混交林空间结构进行研究分析,这对优化辽东山区次生林空间结构,促进森林可持续经营,推进现代林业建设具有重要意义,并为次生林以及人工林的

经营和培育提供借鉴。

## 1 试验地概况

试验地在甘井子林场,位于辽宁省清原满族自治县东部的南山城镇境内,地处浑河上游,地理坐标为 $41^{\circ}58' \sim 42^{\circ}12'N, 125^{\circ}5' \sim 125^{\circ}24'E$ ,境内山脉属长白山系龙岗支脉向西延伸的余脉,平均海拔 $500 \sim 600$  m。本区气候属温带大陆性季风气候,四季分明,冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨。年平均气温 $5.1^{\circ}C$ ,极端最高气温 $35^{\circ}C$ ,极端最低气温 $-37.7^{\circ}C$ ,无霜期 $135$  d,年均降水量 $700 \sim 800$  mm,主要集中在7、8月<sup>[13]</sup>。境内土壤以棕色森林土为主,pH值 $5.5 \sim 6.5$ ,土层厚度为45 cm。本区属长白植物区系,植物种类繁多,生长茂密,森林覆盖率达93%。地带性植被群落为红松(*Pinus koraiensis*)阔叶混交林,现有森林主要是天然次生林和人工林。

本研究中的阔叶混交林是由皆伐迹地天然更新形成。乔木树种主要有蒙古栎(*Quercus mongolica*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、榆树(*Ulmus pumila*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、硕桦(*Betula costata*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、辽椴(*T. mandshurica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、色木槭(*Acer mono*)、茶条槭(*A. ginnala*)、青楷槭(*A. tegmentosum*)、三花槭(*A. triflorum*)、山杨

(*Populus davidiana*)等;林下灌木主要有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、忍冬(*Lonicera japonica*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)、卫矛(*Euonymus alatus*)、珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)、毛樱桃(*Cerasus tomentosa*)和刺五加(*Acanthopanax senticosus*)等;草本植物主要有三穗苔草(*Carex tristachya*)、蕨(*Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*)、蚊子草(*Filipendula palmata*)、黄花蒿(*Artemisia annua*)、木贼(*Equisetum hyemale*)、紫花地丁(*Viola philippica*)和莓叶委陵菜(*Potentilla fragarioides*)等。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查方法

在全面勘察天然次生阔叶林群落的基础上,选择典型样地3块,样地基本概况见表1。每块样地大小设置为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ ,记录样地群落类型、坡向、坡度、海拔、土壤等立地条件因子。以每个样地的西南角作为坐标原点,用皮尺测量胸径大于或等于5 cm活立木在该样地内的 $x, y$ 坐标, $x$ 表示东西方向, $y$ 表示南北方向。每木调查测定胸径、树高、第一活枝高、冠幅等因子。在调查胸径时,如遇到一丛多杆的植株,分别测量每杆胸径,在统计密度时仍按单株计算。

表1 样地概况

Table 1 Survey of sample plots

样地	平均海拔 /m	郁闭度	坡度 /(°)	平均胸径 /cm	平均树高 /m	公顷断面积 /(m <sup>2</sup> · hm <sup>-2</sup> )	密度 (株 · hm <sup>-2</sup> )
I	631	0.80	27	16.76	17.2	36.08	1 200
II	506	0.82	31	16.33	15.8	57.68	1 825
III	540	0.70	30	25.38	12.7	75.45	800

### 2.2 优势种确定

优势种(dominants species)是对群落结构和群落环境的形成有明显控制作用的植物种<sup>[14]</sup>。针对树种类繁多、树种经营选择不明确的天然次生林,本研究主要讨论优势树种对林分空间结构的影响作用。优势树种由优势度分析法确定<sup>[15]</sup>。公式如下:

$$d = \frac{1}{N} \left[ \sum_{i \in T} (x_i - x)^2 + \sum_{j \in U} x_j^2 \right] \quad (1)$$

式中: $x_i$ 为前位物种的相对优势度值,用相对胸高断面积的百分比值表征每个种的优势度; $x$ 为以优势种数量确定的优势种理想百分比; $x_j$ 为剩余种的百分比; $N$ 为总种数。如果只有1个优势种,则优势种的理想百分比为100%,如果有2个,则理想百分比为50%,如果有3个,则理想百分比为33.3%,依次类推,分别计算 $d$ 值。当 $d$ 为最小值时的

上位种数为群落优势树种数。

### 2.3 林分空间结构参数计算

空间结构分析以空间结构单元分析为基础,林分内任意一株单木和距离它最近的 $n$ 株相邻木都可以构成林分空间结构单元,结构单元核心的那株树就是中心木。本研究中取 $n=4$ ,即分析与中心木邻近的4株相邻木空间结构。

2.3.1 角尺度的计算 角尺度定义为夹角小于标准角(取值为 $72^{\circ}$ <sup>[16]</sup>)的个数占所考察相邻木的比例,用公式表示为:

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

式中: $W_i$ 为第 $i$ 株中心木的角尺度; $n$ 为相邻木数量(下同); $z_{ij}$ 取值为

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{第 } j \text{ 个夹角小于标准角} \\ 0 & \text{第 } j \text{ 个夹角大于标准角} \end{cases}$$

林分平均角尺度为:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i \quad (3)$$

式中:  $N$  为样地内林木总株数。

2.3.2 混交度的计算 混交度定义为与中心木不属同种的相邻木占所考察相邻木的比例,用公式表示为:

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

式中:  $M_i$  为第  $i$  株目标树的混交度;  $v_{ij}$  取值为

$$v_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{第 } j \text{ 株相邻木与中心木树种不相同} \\ 0 & \text{第 } j \text{ 株相邻木与中心木树种相同} \end{cases}$$

林分平均混交度为:

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M_i \quad (5)$$

式中:  $N$  为样地内林木总株数。

2.3.3 大小比数的计算 大小比数定义为林木大小指标(胸径、树高、冠幅等)大于中心木的相邻木占所考察相邻木的比例,林木大小指标可以是胸径、树高和冠幅等,本研究采用胸径。胸径大小比数用公式表示为:

$$U_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n k_{ij} \quad (6)$$

式中:  $U_i$  为第  $i$  株中心木的胸径大小比数;  $k_{ij}$  取值为

$$k_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{第 } j \text{ 株相邻木的胸径比中心木大} \\ 0 & \text{第 } j \text{ 株相邻木的胸径比中心木小} \end{cases}$$

分树种计算的大小比数的均值即为树种在林分所测指标上的优势程度,可用下式计算:

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \quad (7)$$

式中:  $N$  为所考察树种的中心树的数量。

## 2.4 边缘效应处理

为了避免边缘效应<sup>[8]</sup>,本研究采用八邻域平移

式<sup>[17]</sup>消除边缘效应,即分别在原样地的上、下、左、右、左上、左下、右上、右下 8 个方向复制原样地,形成由 9 个相同样地组成的大样地,再计算原样地的林分空间结构参数。

## 3 结果与分析

### 3.1 林分空间分布格局分析

林木空间分布格局类型基本有随机分布、均匀分布和团状分布 3 种。角尺度是一种优秀的格局分析方法,对空间结构有很强的解析能力<sup>[18]</sup>。惠刚盈<sup>[12]</sup>等研究给出了角尺度均值判别方法,即林分平均角尺度在 0.475~0.517 为随机分布,小于 0.475 为均匀分布,大于 0.517 则为团状分布。经统计计算,样地 I 和 III 的林分平均角尺度在 0.475~0.517 之间,为随机分布,样地 II 的林分平均角尺度大于 0.517,可认为属于轻度的团状分布。由图 1 可知,3 个样地角尺度取值为 0 和 1 的频率都很低,样地 I 均为 0.04,样地 II 分别为 0.03 和 0.08,样地 III 分别为 0.00 和 0.03,说明林分中很均匀和很不均匀的结构单元极少,可以认为是群落长期自然演替的结果。角尺度取值为 0.50 的出现频率最高,3 个样地分别达到了 0.50、0.55 和 0.72。样地 I 在 0.50 取值左侧的频率之和(0.29)稍高于右侧之和(0.21),样地 II 在 0.50 取值右侧的频率之和(0.24)稍高于左侧之和(0.21),样地 III 在 0.50 取值左侧的频率之和(0.19)稍高于右侧之和(0.09)。可见,这 3 个样地的角尺度分布接近于正态分布。根据进展演替的一般规律,顶级群落的水平分布格局应为随机分布<sup>[19-20]</sup>,但因立地微环境的差异或在枯倒木形成初期,砸压幼树、形成林窗、发生更新等会暂时打破森林原有的稳定状态,从而使林木的水平分布格局变为轻度的团状分布,随着自然演替其林木水平分布格局会逐渐趋于随机分布<sup>[20]</sup>,本研究中,样地 II 属于此类情况。

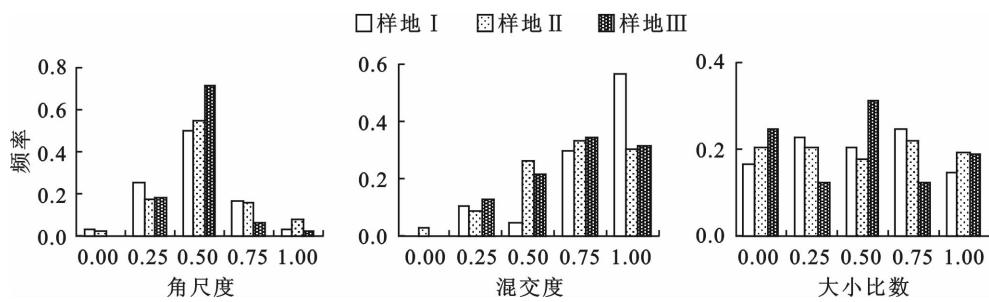


图 1 林分混交度、角尺度和大小比数的频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of uniform angle index, mingling and neighborhood comparison of the stand

### 3.2 林分物种间隔离程度分析

树种的混交程度是构建合理林分的首要前提,也是近自然森林调整的必要条件。混交度清楚地描

述了林分中任意一株树的最近相邻木为其他树种的概率,表征了树种空间隔离程度<sup>[21]</sup>。经统计计算,样地 I、II 和 III 的林分平均混交度分别为 0.828、

0.699和0.711,样地Ⅰ达到极强度混交,样地Ⅱ和Ⅲ的达到强度混交。由图1可知,林分混交度分布规律明显,从0到1各取值的频率基本呈增加的趋势,处于零度混交和弱度混交的林木比例较小,同种树聚集在一起的情况较少,说明辽东山区天然次生阔叶混交林林分混交状况良好,混交程度较高。样地Ⅰ混交度取值为0.75和1.00的频率明显大于其他情况,林分主要以强度和极强度混交为主,样地Ⅱ和Ⅲ混交度从0.50到1.00的比例相差不大,主要以中度、强度和极强度混交为主。

由表2可知,样地Ⅰ中的所有优势树种混交度取值为0的情况不存在,即所有树种都没有出现单

种聚集,均和不同树种进行了混交。榆树虽在0.25处有一定分布,但主要集中在0.75和1.00处,紫椴和硕桦主要分布在0.75和1.00处,数量较少的胡桃楸的树种混交度为1.00,表明其周围最近的4株相邻木均为不同的树种。样地Ⅱ中的紫椴、水曲柳和蒙古栎的频率分布比较相似,他们在零度、弱度、中度、强度和极强度混交均有出现,但在0.50和0.75处的分布较大。在样地Ⅲ中,蒙古栎的树种混交度主要分布在0.50和0.75处。紫椴不存在零度和弱度混交的情况,在0.50和0.75处的分布也较大。

表2 优势树种的混交度及其频率分布

Table 2 Value and frequency of mingling for dominant species

样地	优势树种	混交度频率分布					平均混交度
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
Ⅰ	榆树	0.00	0.29	0.06	0.24	0.41	0.691
	紫椴	0.00	0.00	0.08	0.58	0.33	0.813
	硕桦	0.00	0.00	0.00	0.40	0.60	0.900
	胡桃楸	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.000
Ⅱ	紫椴	0.04	0.07	0.39	0.39	0.11	0.616
	水曲柳	0.04	0.17	0.35	0.26	0.17	0.587
	蒙古栎	0.06	0.18	0.35	0.24	0.18	0.897
Ⅲ	蒙古栎	0.00	0.25	0.25	0.33	0.17	0.604
	紫椴	0.00	0.09	0.36	0.55	0.00	0.614

### 3.3 林木大小分化程度

大小比数有5种取值,即0.00、0.25、0.50、0.75和1.00,对应于中心木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。它明确定义了被分析的中心木在该结构块中所处的生态位,且其生态位的高低以中庸级为岭脊,生物意义十分明显<sup>[6]</sup>。各样地胸径大小比数的频率分布。由图1可知,样地Ⅰ和样地Ⅱ的胸径大小比数的频率分布呈现出均衡分布的特征,在各状态下的频率分布都在0.20左右。样地Ⅲ在各状态的频率有一定差异,在0.50取值的频率(0.31)最高,在0.25和0.75取值的频率(均为

0.13)最低,但在0.50取值的频率(0.31)与其左侧的频率之和(0.38)以及右侧的频率之和(0.31)比较接近,也可以理解成均衡分布,大小比数的均衡分布说明整个林分树种的稳定性较高。

各样地优势树种的平均胸径大小比数结果(表3)可看出,在样地Ⅰ中,硕桦的平均胸径大小比数只有0.100,取值仅在0.00和0.25上有分布,这是因为硕桦数量虽少但胸径较大,在结构单元中处于明显优势地位。胡桃楸的平均胸径大小比数取值0.00和0.25的频率累计达到了0.75,表明胡桃楸周围较大树木很少,大部分胡桃楸处于明显的优势地位。

表3 优势树种的大小比数及其频率分布

Table 3 Value and frequency of neighborhood comparison for dominant species

样地	优势树种	大小比数频率分布					平均大小比数
		0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
Ⅰ	榆树	0.00	0.24	0.24	0.29	0.24	0.632
	紫椴	0.25	0.25	0.17	0.25	0.08	0.417
	硕桦	0.60	0.40	0.00	0.00	0.00	0.100
	胡桃楸	0.25	0.50	0.00	0.00	0.25	0.375
Ⅱ	紫椴	0.21	0.18	0.21	0.18	0.21	0.500
	水曲柳	0.17	0.04	0.13	0.43	0.22	0.620
	蒙古栎	0.24	0.53	0.18	0.06	0.00	0.265
Ⅲ	蒙古栎	0.42	0.17	0.17	0.17	0.08	0.333
	紫椴	0.18	0.09	0.36	0.00	0.36	0.568

位。榆树在 0.00 上没有分布,但在 0.25~1.00 上频率分布比较均衡,说明榆树处于优势地位的数量虽少,但其更新良好,总体表现为中庸状态;在样地Ⅱ中,蒙古栎的平均胸径大小比数取值 0.00 和 0.25 的频率之和为 0.77,说明其处于明显优势地位;水曲柳取值 0.75 和 1.00 的频率之和为 0.65,说明其处于劣势地位;在样地Ⅲ中,蒙古栎的平均胸径大小比数取值 0 的频率达到 0.42,0.25~0.75 的频率均为 0.17,说明其主要以大径木的形式存在,更新状况一般;紫椴为 3 个样地共有树种,其在样地Ⅰ 和 样 地Ⅱ 的 胸 径 大 小 比 数 在 各 状 态 下 的 频 率 分 布 比 较 均 衡,而在样地Ⅲ中主要集中在 0.50 和 1.00 处,表明紫椴在样地Ⅰ 和 样 地Ⅱ 中 更新 良 好,而 在 样 地Ⅲ 中 受 到 蒙 古 栎 挤 压,分 化 较 严 重。

#### 4 结论与讨论

天然次生林是辽东山区森林资源体系的主体,是辽宁腹地不可替代的生态屏障,是保障辽宁省主要用水的绿色水库。本研究选取的 3 个样地,坡度较大,人为干扰少。林分的平均角尺度在 0.479~0.524 之间,属于随机分布或轻度的团状分布。林分的平均混交度在 0.699~0.828 之间,为强度混交或极强度混交。林木大小分化程度处于中庸状态,胸径大小比数分布均衡。总体来讲,辽东山区天然次生阔叶混交林具有明显的顶极群落特征,林分水平分布格局比较稳定,种间隔离程度高,树种的稳定性较高。

对次生林而言,任其自由生长,最终可能演替为其原始状态,但其过程会相当漫长,为适应现代林业的发展,可适当地采取人为措施,合理调整树种组成、水平分布格局等林分结构特征,促进林分群落的自然演替,同时又不违背其演替规律,是经营的关键。样地Ⅰ 的 水 平 分 布 格 局 为 随 机 分 布,种 间 隔 离 程 度 高,胸 径 大 小 比 数 分 布 均 衡,林 分 结 构 较 为 合 理,应 采 取 封 育 措 施,减 少 人 为 活 动 干 扰,使 其 继 续 保 持 当 前 空 间 结 构 特 征。样 地Ⅱ 中 水 曲 柳 密 度 较 大且 胸 径 分 化 处 于 劣 势 地 位,可 适 当 抚 育 间 伐 小 径 阶 水 曲 柳,提 高 林 分 水 平 分 布 状 况,调 整 树 木 间 竞 争 状 况,优 化 林 分 结 构。样 地Ⅲ 通 过 适 当 疏 伐 掉 大 径 阶 的 蒙 古 栎,促 进 其 新 命,使 林 分 结 构 可 以 较 好 地 演 替 到 合 理 结 构。

#### 参考文献:

- [1] GRAU H R, ARTURI M F, BROWN A D, et al. Floristic and structural patterns along a chronosequence of secondary forest succession in argentinean subtropical montane forests [J]. Forest Ecology and Management, 1997, 95(2): 161-171.
- [2] 朱教君. 次生林经营基础研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1689-1694.
- ZHU J J. A review on fundamental studies of secondary forest management[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(12): 1689-1694. (in Chinese)
- [3] 刘足根, 朱教君, 袁小兰, 等. 辽东山区次生林主要树种种群结构和格局[J]. 北京林业大学学报, 2007(1): 12-18.
- LIU Z G, ZHU J J, YUAN X L, et al. On the structure and patterns of major tree species populations of secondary forests in the montane regions of eastern Liaoning Province[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007(1): 12-18. (in Chinese)
- [4] GADOW K V. Strukturentwicklung eines buchen-fichten-mischbestandes[J]. Allg Forst-u J\_Ztg, 1997, 168(6/7): 103-106.
- [5] 夏富才, 姚大地, 赵秀海, 等. 长白山北坡阔叶红松林空间结构[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(10): 5-7.
- XIA F C, YAO D D, ZHAO X H, et al. Horizontal spatial structure of Korean pine broad-leaved forest in northern slope of Changbai Mountains[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2009, 37(10): 5-7. (in Chinese)
- [6] 赵中华, 惠刚盈, 袁士云, 等. 小陇山锐齿栎天然林空间结构特征[J]. 林业科学, 2009, 45(3): 1-6.
- ZHAO Z H, HUI G Y, YUAN S Y, et al. Spatial structure characteristic of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* natural forest in Xiaolongshan[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(3): 1-6. (in Chinese)
- [7] 倪静, 宋西德, 张永, 等. 永寿县刺槐人工林空间结构研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 24-27.
- NI J, SONG X D, ZHANG Y, et al. Forest stand spatial structure of *Robinia pseudoacacia* plantation in Yongshou County[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(3): 24-27. (in Chinese)
- [8] 陈新美, 张会儒, 姜慧泉. 东北过伐林区蒙古栎林空间结构分析与评价[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(6): 20-24.
- CHEN X M, ZHANG H R, JIANG H Q. Analysis and evaluation on spatial structure of *Quercus mongolica* forests in overlogged region in northeast China[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2010, 30(6): 20-24. (in Chinese)
- [9] 邓送求, 闫家锋, 关庆伟. 宝华山紫楠风景林林分空间结构分析[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(4): 29-32.
- DENG S Q, YAN J F, GUAN Q W. Spatial structure of scenic forest of phoebe shearerii in Baohuashan, Jiangsu Province [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(4): 29-32. (in Chinese)
- [10] 汤孟平. 森林空间结构研究现状与发展趋势[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 117-122.
- TANG M P. Advances in study of forest spatial structure[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(1): 117-122. (in Chinese)

(下转第 173 页)