

## 天目山近自然毛竹纯林的竹秆空间结构特征

邓英英<sup>1</sup>, 汤孟平<sup>1</sup>, 徐文兵<sup>1</sup>, 陈永刚<sup>1</sup>, 娄明华<sup>1</sup>, 赵明水<sup>2</sup>

(1. 浙江农林大学 环境科技学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江天目山国家级自然保护区 管理局, 浙江 临安 311311)

**摘要:** 近自然毛竹 *Phyllostachys pubescens* 纯林是浙江省天目山国家级自然保护区内特殊的植被保护类型。研究近自然毛竹纯林的竹秆空间结构特征, 可正确认识近自然毛竹纯林地上部分的结构与功能关系。在浙江天目山国家级自然保护区内, 选择近自然毛竹纯林设置样地(样地大小为 100 m × 100 m), 用全站仪测定每株毛竹坐标( $x, y, z$ ), 采用 8 邻域边缘校正方法, 利用角尺度、大小比数和秆龄混交度 3 个林分空间结构指数, 分析近自然毛竹纯林的竹秆空间结构特征。结果表明: 近自然状态的毛竹纯林活立竹、枯死竹和整个毛竹林的角尺度均值分别为 0.554, 0.556 和 0.553, 均为聚集分布; 活立竹的平均大小比数为 0.511, 表明参照竹和相邻竹在胸径因子上优势不明显, 竞争能力相当; 整个毛竹林的秆龄混交度均值为 0.713, 接近于强度混交, 表明毛竹林具有秆龄多样性和较高的秆龄相互隔离程度。图 6 表 1 参 28

**关键词:** 森林经理学; 近自然毛竹纯林; 空间结构; 角尺度; 大小比数; 秆龄混交度; 天目山  
**中图分类号:** S757      **文献标志码:** A      **文章编号:** 2095-0756(2011)02-0173-07

## Spatial structure of bamboo culm of an almost natural, pure *Phyllostachys pubescens* forest in Mount Tianmu

DENG Ying-ying<sup>1</sup>, TANG Meng-ping<sup>1</sup>, XU Wen-bing<sup>1</sup>, CHEN Yong-gang<sup>1</sup>,  
LOU Ming-hua<sup>1</sup>, ZHAO Ming-shui<sup>2</sup>

(1. School of Environmental Sciences and Technology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Management Office, National Nature Reserve of Mount Tianmu, Lin'an 311311, Zhejiang, China)

**Abstract:** An almost natural *Phyllostachys pubescens* pure forest is a special vegetation type in the National Nature Reserve of Mount Tianmu, Zhejiang Province. Study of this bamboo forest was done to help understand the relationship of the structure and function of the ground part. A typical plot of 100 m × 100 m was surveyed in the reserve. Each *Ph. pubescens* stem was located in terms of  $x$ -,  $y$ -, and  $z$ -coordinates using a total station method with eight neighborhood edge corrections. Then the spatial structure of the stand was analyzed with the uniform angle index, by a neighborhood comparison, and by mingling of culm age. Results showed that the average uniform angle index of living *Ph. pubescens* was 0.554, for dead stems was 0.556, and for the entire stand was 0.553, which meant a clumped distribution. The average neighborhood comparison of living stems was 0.511 meaning there was no apparent trend of relative dominance. The mean mingling of culm age was 0.713 closing which showed strong mingling. Therefore, this *Ph. pubescens* stand had both diversity and a high degree of segregation with culm age. [Ch, 6 fig. 1 tab. 28 ref.]

**Key words:** forest management; almost natural *Phyllostachys pubescens* pure forest; spatial structure; uniform angle index; neighborhood comparison; mingling of culm age; Mount Tianmu

收稿日期: 2010-06-18; 修回日期: 2010-09-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871963); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3080261); 浙江省科技计划项目(2009C32063); 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目(20101561)

作者简介: 邓英英, 从事森林可持续经营理论与技术研究。E-mail: dengyingying1985@yahoo.com.cn. 通信作者: 汤孟平, 教授, 博士, 从事森林可持续经营理论与技术研究。E-mail: goodtmp@yahoo.com.cn

林分空间结构是指林木空间分布格局、树种混交和树木竞争(或树木大小空间排列)<sup>[1-2]</sup>。林木空间分布格局描述树木在空间的分布形式。树种混交描述不同树种相互隔离状况。林木竞争描述不同大小树木的竞争状态,它不仅决定了林木之间的竞争势及其空间生态位,还决定了林分的稳定性、发展的可能性和经营空间大小<sup>[3]</sup>。目前,涉及单木之间空间关系的林分空间结构及其空间关系的描述和解释已成为森林结构研究的焦点<sup>[4-5]</sup>,主要包括角尺度、大小比数、混交度在林分空间结构分析中的应用研究等<sup>[6-9]</sup>。目前,对于毛竹 *Phyllostachys pubescens* 林结构的研究大多集中在生物多样性结构、直径结构、秆龄结构和生物量结构等<sup>[10-13]</sup>非空间的结构方面;事实上与距离有关的空间结构指数可以精确定量描述林分的结构特征,对分析和调控林分结构与功能的关系具有重要作用<sup>[14]</sup>。大多毛竹林空间结构的研究采用与距离无关的分析方法如:扩散系数  $C$  检验法和 Taylor 幂法则<sup>[15]</sup>等方法,方差均值比  $(V/m)(t$  检验)、莫里西塔指数  $(I_{\sigma})(F$  检验)<sup>[16]</sup>等方法。由于传统的分析方法没有考虑空间的位置信息,因而林分空间结构的可解析性较差。以相邻木关系为基础的空间结构分析方法充分考虑了点的空间位置,能获取种群数量分布的空间信息,分析林木在空间结构单元中的空间关系,林分空间结构的可解析性较高<sup>[17]</sup>。基于相邻木结构单元法对近自然毛竹纯林的研究少见报道。为此,笔者选择近自然状态的毛竹纯林作为研究对象,利用角尺度、大小比数、混交度 3 个空间结构指数,研究近自然毛竹纯林自然干扰的格局,种内竞争状况和秆龄的混交情况,旨在揭示近自然毛竹纯林的空间结构特征,为毛竹林经营及保护提供依据。

## 1 毛竹林空间结构分析理论基础

### 1.1 毛竹林空间结构单元大小的确定

毛竹林内任意单株毛竹和距离它最近的  $n$  株相邻毛竹构成毛竹林空间结构单元。位于空间结构单元中心的毛竹称为参照竹,而最近的  $n$  株相邻毛竹则被称为相邻竹。确定空间结构单元的关键是选取相邻竹的株数  $n$ 。本研究采用惠刚盈等<sup>[3]</sup>的研究结果,选取  $n = 4$ 。

### 1.2 林分空间结构指数的计算

1.2.1 角尺度 角尺度( $W_i$ )用来描述相邻木围绕参照树  $i$  的均匀性。从参照树出发,任意 2 个最近相邻木的夹角有 2 个,小角为  $a$ ,最近相邻木均匀分布时的夹角设为标准角  $\alpha_0$ ,角尺度被定义为  $a$  角小于标准角  $\alpha_0$  的个数占所考察的相邻最近树  $n$  的比例。计算公式为<sup>[18-19]</sup>:

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

式(1)中: $W_i$ 为参照竹  $i$  的角尺度,当第  $j$  个  $a$  角小于  $\alpha_0$  时,  $a_{ij} = 1$ ,反之,  $a_{ij} = 0$ 。角尺度取值有下列 5 种情况:0(绝对均匀)、0.25(均匀)、0.50(随机)、0.75(不均匀)、1.00(聚集)。

整个毛竹林平均角尺度( $\bar{W}$ )的计算公式为<sup>[20]</sup>:

$$\bar{W} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n W_i \quad (2)$$

式(2)中: $W_i$ 是第  $i$  株参照竹的角尺度; $N$ 为参照竹的总株数。

1.2.2 大小比数 大小比数是表征单木之间竞争的一种计算方法。大小比数是大小分化度基础上的改进,它是指胸径大于参照树的相邻木占 4 株最近相邻木的比例<sup>[21]</sup>。本研究调整大小比的判定顺序,计算公式为:

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

式(3)中: $U_i$ 为参照竹  $i$  的大小比数,当第  $i$  株参照竹比第  $j$  株相邻竹大时  $k_{ij} = 1$ ,反之,  $k_{ij} = 0$ 。

同角尺度一样,大小比数的取值也有 5 种可能:0(绝对劣势)、0.25(劣势)、0.50(中)、0.75(亚优势)、1.00(优势)。可见,大小比数量化了参照竹与其相邻竹的关系,其值( $U_i$ )愈低,说明比参照竹大的相邻竹愈多。本研究采用胸径大小比。

活立竹的平均大小比( $\bar{U}$ )的计算公式为<sup>[20]</sup>:

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

式(4)中： $L$  为所观察毛竹的参照树数量； $U_i$  为毛竹的第  $i$  个大小比数值。

1.2.3 混交度 混交度是 Gadow 等<sup>[22]</sup>提出，用来说明林分不同树种之间相互隔离的程度的指数。本研究中，混交度表示毛竹的不同秆龄相互隔离程度。计算公式为：

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

式(5)中： $M_i$  为参照竹  $i$  的秆龄混交度，当第  $i$  株参照竹与最近第  $j$  株相邻竹属不同秆龄时， $v_{ij} = 1$ ，反之， $v_{ij} = 0$ 。同样，混交度也有 5 种取值：0(0 度混交)，0.25(弱度混交)，0.50(中度混交)，0.75(强度混交)，1.00(极强度混交)。

林分平均混交度( $\bar{M}$ )的计算公式<sup>[20]</sup>：

$$\bar{M} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n M_i \quad (6)$$

式(6)中： $\bar{M}$  为竹林平均混交度； $N$  为竹林总株数。

角尺度、大小比数、混交度的取值范围均为[0,1]，而且整个毛竹林的角尺度、大小比数、混交度的计算都采用均值。这 3 个参数均采用 Visual Basic 软件编程进行计算。

### 1.3 边缘校正

为排除样地界外毛竹可能是样地内毛竹的最近邻竹的情况，需要进行样地边缘校正<sup>[23]</sup>。周红敏等<sup>[24]</sup>认为，8 邻域平移式和其他校正方法在角尺度和混交度得出的结果差异不大，而且这种方法不会造成信息的丢失。所以，本研究采用 8 邻域平移式进行边缘校正，即分别在原样地的上、下、左、右、左上、左下、右上、右下等 8 个方向平移原样地，形成由 9 个同样样地组成的大样地(图1)，再计算以原样地的毛竹为参照竹的角尺度、大小比数和混交度。这样每个目标竹都有一个相对完整的结构单元，减少理论值与实际值之间的偏差，消除边缘影响。

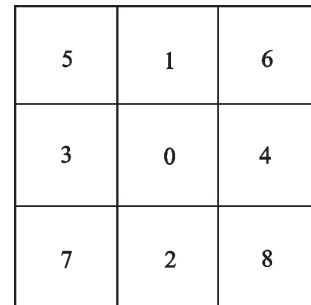


图 1 边缘校正  
Figure 1 Edge correction

## 2 研究区概况及调查方法

### 2.1 研究区概况

浙江省天目山国家级自然保护区位于浙江省西北部临安市境内的西天目山，距浙江省人民政府所在地杭州 94 km，地理坐标为 30°18'30" ~ 30°21'37"N，119°24'11" ~ 119°27'11"E。年平均气温为 14.8 ~ 8.8 °C；≥10 °C 积温为 2 500 ~ 5 100 °C；年降水量为 1 390 ~ 1 870 mm，年平均相对湿度为 76% ~ 71%。自然保护区受海洋暖湿气候影响较大，具有中亚热带向北亚热带过渡特征，森林植被十分茂盛。由于区内地势较为陡峭，海拔上升快，气候差异大。植被的分布有着明显的垂直界限，自山麓到山顶垂直带谱为：海拔 850 m 以下为常绿阔叶林，870 ~ 1 100 m 为常绿落叶阔叶混交林，1 100 ~ 1 380 m 为落叶阔叶林，1 380 ~ 1 506 m 为落叶矮林。毛竹林主要分布在海拔 350 ~ 900 m，镶嵌分布于其他森林类型之间，面积为 77 hm<sup>2</sup>。林下植被稀少，主要种类有豹皮樟 *Litsea coreana* var. *sinensis*，连蕊茶 *Camellia fraterna*，细叶青冈 *Cyclobalanopsis myrsinaefolia*，微毛柃 *Eurya hebeclados* 和短尾柯 *Lithocarpus brevicaudatus* 等。长期以来，从保护生物多样性角度，近自然毛竹林并不是保护重点，但由于它有固碳功能，已引起人们关注近自然毛竹林的研究<sup>[11]</sup>。

### 2.2 样地调查

1956 年以来，浙江天目山国家级自然保护区的毛竹纯林未进行过人为干扰，为近自然毛竹纯林。2008 年，浙江天目山国家自然保护区的毛竹纯林遭受雪灾的影响，但雪灾属于自然干扰，因此并不影响把天目山毛竹纯林作为近自然林的调查与研究对象。2009 年 7 月，在毛竹林内设置 1 个面积为 100 m × 100 m 的固定调查样地。用相邻网格调查方法，把样地划分为 100 个 10 m × 10 m 的调查单元(图2)。在每个调查单元内，测定每株毛竹的胸径、树高、秆龄、活枝下高、冠幅、胸径处节长和弯曲的状态

等因子, 主要平均调查因子如下: 立竹度为  $5\,488$  株· $\text{hm}^{-2}$ , 平均胸径为  $10.6$  cm, 平均竹高为  $14.3$  m, 平均断面积为  $93.8$   $\text{m}^2$ · $\text{hm}^{-2}$ 。采用激光对中全站仪测定每株毛竹的三维坐标( $x, y, z$ )位置<sup>[25]</sup>(图3), 其中:  $x, y$  是平面直角坐标,  $z$  是海拔高度。共测定活立竹  $5\,488$  株, 枯死竹  $1\,032$  株。同时, 在样地网格每行的 10 个单元中, 随机抽取 1 个单元, 在被抽中单元的中心设置  $2\text{ m} \times 2\text{ m}$  样方, 调查植物种类、盖度和多度。

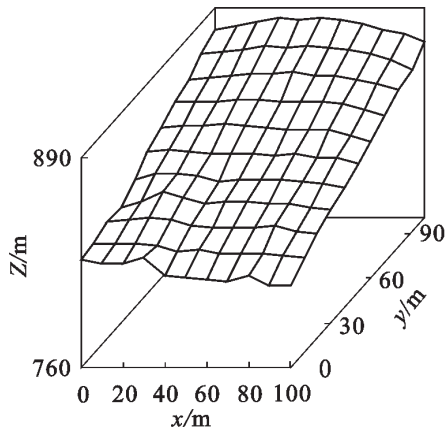


图2 1万  $\text{m}^2$  样地三维地形图

Figure 2 3D map of the 10 000  $\text{m}^2$  plot



图3 样地的毛竹坐标位置

Figure 3 Sketch map of coordinate position of the *Phyllostachys pubescens* plot

### 3 结果分析

#### 3.1 分布格局分析

角尺度可以反映毛竹分布格局的 3 种情形: 随机、均匀和聚集分布。根据毛竹的生长状态把毛竹分为活立竹和枯死竹, 分别计算其角尺度。结果表明: 活立竹、枯死竹和整个毛竹林的角尺度 5 种取值的相对频率差异很大(图4), 活立竹、枯死竹和整个毛竹林的角尺度的平均值分别为:  $0.554$ ,  $0.556$  和  $0.553$ , 均大于  $0.517$ <sup>[26]</sup>, 呈聚集分布状态。这一结果和黄丽霞等<sup>[27]</sup>等针对不同经营方式下毛竹林的立竹均属于聚集分布格局研究结果基本相同。

毛竹聚集分布与毛竹地下竹鞭的生物学特性有很大的关系。同时, 也受环境的影响, 如雪灾和风倒等, 以及毛竹对环境资源如土壤养分、水分和生长空间的竞争, 这些因子阻碍了毛竹竹鞭的自由扩张, 从而增加了毛竹林呈聚集分布的可能性<sup>[16]</sup>。

#### 3.2 胸径大小分化程度分析

由于枯死竹处在死亡状态, 胸径大小已无法准确表达毛竹的优势程度, 故本研究只分析活立竹的大小比。结果表明: 活立竹各大小比数在 5 种取值上的分布比较均匀, 相对频率随大小比数增大略有上升趋势, 说明处于相对优势的毛竹的比例略大于处于劣势的比例(图5)。这一结果和人工经营的毛竹纯林的研究不太相符<sup>[27]</sup>。活立竹平均大小比数为  $0.511$ , 说明总体上, 参照竹和相邻竹的优势不明显, 依靠胸径竞争, 能力相当。原因是新竹长成, 抽枝展叶后, 高生长与粗生长停止, 也就是竹子的体积不再随着秆龄的增加而增大。所以单个活立竹的胸径大小差异不大, 集中在  $5 \sim 15$  cm。在此范围内, 毛竹种内竞争强度有随胸径增大略有增加的趋势(图6)。从整体上看, 毛竹依靠增大胸径来提高竞争力的现象并不明显。

#### 3.3 秆龄混交度分析

秆龄混交度反映毛竹林的秆龄多样性和秆龄空间配置情况。由于枯死竹在年龄分辨方面较困难, 所

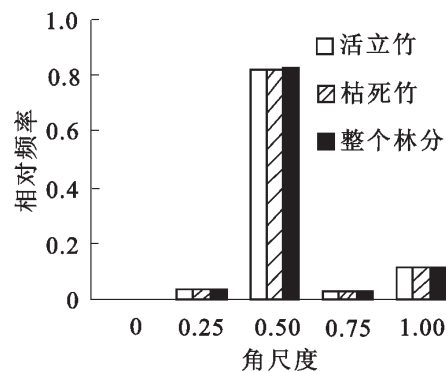


图4 竹秆的角尺度分布

Figure 4 Uniform angle index distributions of culms



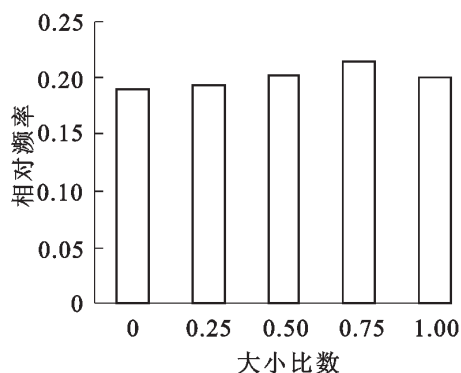


图 5 竹秆的大小比数分布

Figure 5 Neighborhood comparison distributions of the culms

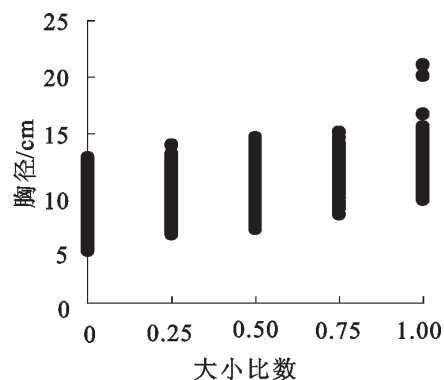


图 6 大小比数随胸径变化散点图

Figure 6 Scatter diagram of the change of neighborhood comparison with DBH

表 1 各秆龄混交度及其频率分布

Table 1 Mingling and its distribution frequencies of culm age

秆龄/a	混交度 $M_i$ 与频率/%					平均混交度
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	
1	0	0	0	12	88	0.97
2	0	0	8	34	58	0.88
3	0	0	0	22	78	0.94
4	1	3	23	29	45	0.79
6	2	14	29	35	20	0.64
7	0	0	0	0	100	1.00
8	0	0	12	31	57	0.86
9	0	0	0	0	100	1.00
10	0	0	6	29	65	0.90
12	5	17	30	33	14	0.59
14	0	0	0	0	100	1.00
林分	2	10	22	33	32	0.71

以本研究只分析了各年龄活立竹的混交度。从各秆龄的平均混交度及其频率分布(表 1)可以看出,属于极强度混交的秆龄为 7, 9 和 14 a, 介于强度混交和极强度混交之间的秆龄为 1, 2, 3, 4, 8 和 10 a。秆龄为 4, 6 和 12 a 的平均混交度相对较小, 且混交度各取值都有分布。各秆龄混交度  $>0.5$  的比例远大于混交度  $<0.5$  的比例。整个毛竹林中, 混交度为 1 的比例占 32%, 混交度为 0 比例仅占 2%。说明相邻 4 株毛竹中, 与参照竹秆龄完全不同的比例远大于秆龄完全相同的比例。毛竹林分的平均混交度为 0.713, 接近于强度混交, 表明毛竹林具有较高的秆龄多样性和秆龄相互隔离程度, 原因是竹林每年都有竹笋萌发生成新的立竹, 形成不同秆龄立竹所组成的异龄林<sup>[28]</sup>。

## 4 结论

对浙江天目山国家级自然保护区内的近自然毛竹纯林竹秆空间结构特征研究表明: 近自然毛竹纯林的活立竹、枯死竹和整个毛竹林的角尺度均值分别为 0.554, 0.556 和 0.553, 说明均为聚集分布。活立竹的平均大小比数为 0.511, 表明毛竹竹秆的大小分化程度差异不大, 整个毛竹林在胸径这一指标上优势不明显。秆龄混交度均值为 0.713, 且各秆龄平均混交度均大于 0.5, 表明毛竹林具有秆龄多样性和较高的秆龄隔离程度, 林分为异龄林。

林分的空间结构对林分的稳定性和功能的发挥具有重要影响。本研究采用 100 m  $\times$  100 m 大样地的

一次性调查数据,分析了近自然毛竹纯林现有的空间结构特征。有必要建立长期的固定样地,与人工经营的毛竹林的分布格局、竞争状况和秆龄的混交度进行对比分析,深入研究并揭示空间结构形成机制以及与毛竹林生长、生态功能和生物多样性之间的关系。在此基础上,预测毛竹林的空间结构变化趋势,以便采取措施优化和调控毛竹林的空间结构,发挥毛竹林的多种功能。

#### 参考文献:

- [1] AGUIRRE O, HUI Gangying, GADOW K V, *et al.* An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables [J]. *For Ecol Manage*, 2003, **183**: 137 - 145.
- [2] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 等. 2种混交度的比较分析[J]. 林业资源管理, 2004 (4): 25 - 27.  
TANG Mengping, TANG Shouzheng, LEI Xiangdong, *et al.* Comparison analysis on two minglings [J]. *For Resour Manage*, 2004 (4): 25 - 27.
- [3] 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): 23 - 27.  
HUI Gangying, HU Yanbo. Measuring species spatial isolation in mixed forests [J]. *For Res*, 2001, **14** (1): 23 - 27.
- [4] MOEUR M. Characterizing spatial patterns of trees using stem mapped data [J]. *For Sci*, 1993, **39** (4): 756 - 775.
- [5] 汤孟平. 森林空间结构分析与优化经营模型的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2003: 92 - 179.  
TANG Mengping. *Study on Forest Structure Analysis and Optimal Management Model* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2003: 92 - 179.
- [6] 胡艳波, 惠刚盈, 戚继忠, 等. 吉林蛟河近自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.  
HU Yanbo, HUI Gangying, QI Jizhong, *et al.* Analysis of the spatial structure of natural Korean pine broad leaved forest [J]. *For Res*, 2003, **16** (5): 523 - 530.
- [7] 郝云庆, 王金锡, 王启和. 柳杉纯林改造后林分空间结构变化预测[J]. 林业科学, 2009, **42** (8): 9 - 13.  
HAO Yunqing, WANG Jinxi, WANG Qihe. Preview of spatial structure of *Cryptomeria fortunei* plantation after stand improvement [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **42** (8): 9 - 13.
- [8] 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): 2 - 6.  
ZHAO Zhonghua, HUI Gangying, YUAN Shiyun, *et al.* Spatial structure characteristic of *Quercus aliena* var. *acute-serrata* natural forest in Xiaolongshan [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **45** (3): 2 - 6.
- [9] TRIPATHI S K, SINGH K P. Litter dynamics of recently harvested and mature bamboo savannas in a dry tropical region in India [J]. *J Trop Ecol*, 1995, **11**: 403 - 417.
- [10] 郑郁善, 洪伟. 毛竹林丰产秆龄结构模型与应用研究[J]. 林业科学, 1998, **34** (3): 32 - 38.  
ZHENG Yushan, HONG Wei. A study of age structure model of bamboo stand and its application [J]. *Sci Silv Sin*, 1998, **34** (3): 32 - 38.
- [11] 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布[J]. 林业科学, 2004, **40** (6): 20 - 24.  
ZHOU Guomo, JIANG Peikun. Density, storage and spatial distribution of carbon in *Phyllostachy pubescens* forest [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (6): 20 - 24.
- [12] EMBAYEA K, WEIHA M, LEDINC S, *et al.* Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management [J]. *For Ecol Manage*, 2005, **204** (2-3): 159 - 169.
- [13] 葛宏立, 周国模, 刘恩斌, 等. 浙江省毛竹直径与年龄的二元 Weibull 分布模型[J]. 林业科学, 2008, **44** (12): 15 - 20.  
GE Hongli, ZHOU Guomo, LIU Enbin, *et al.* Diameter-age bivariate Weibull distribution model for moso bamboo forests in Zhejiang Province [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44** (12): 15 - 20.
- [14] 汤孟平, 唐守正, 雷相东, 等. 林分择伐空间结构优化模型研究[J]. 林业科学, 2004, **40** (5): 25 - 31.  
TANG Mengping, TANG Shouzheng, LEI Xiangdong, *et al.* Study on spatial structure optimizing model of stand selection cutting [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (5): 25 - 31.
- [15] 兰思仁. 武夷山天然毛竹林分布格局的研究[J]. 福建林学院学报, 1995, **15** (3): 277 - 280.  
LAN Siren. A study on distribution pattern of natural *Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens* forests in Wuyi Mountain [J]. *J Fujian Coll For*, 1995, **15** (3): 277 - 280.

- [16] 王微, 胡凯, 吴东琴, 等. 重庆地区毛竹分株种群结构特征研究[J]. 竹子研究汇刊, 2008, **27** (2): 17 - 19.  
WANG Wei, HU Kai, WU Dongqin, *et al.* Studies on the ramet population structure of the clonal moso bamboo in Chongqing [J]. *J Bamboo Res*, 2008, **27** (2): 17 - 19.
- [17] 岳永杰, 余新晓, 李钢铁, 等. 北京松山自然保护区蒙古栎林的空间结构特征[J]. 应用生态学报, 2009, **20** (8): 1811 - 1816.  
YUE Yongjie, YU Xinxiao, LI Gangtie, *et al.* Spatial structure of *Quercus mongolica* forest in Songshan Mountain Nature Reserve, Beijing [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2009, **20** (8): 1811 - 1816.
- [18] FUELDNER K. *Strukturbeschreibung Von Buchen-edellaubholz Mischwaeldem* [M]. Gottingen: Cuvillier Verlag Gottingen. 1995.
- [19] 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.  
HUI Gangying, VON GADOW K, HU Yanbo. The optimum standard angle of the uniform angle index [J]. *For Res*, 2004, **17** (6): 687 - 692.
- [20] 惠刚盈, VON GADOW K, 胡艳波. 森林空间结构经营[M]. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [21] 惠刚盈, VON GADOW K, ALBERT M. 一个新的林分空间结构参数大小比数[J]. 林业科学研究, 1999, **35** (1): 1 - 6.  
HUI Gangying, VON GADOW K, ALBERT M. A new parameter for stand spatial structure neighbourhood comparison [J]. *Sci Silv Sin*, 1999, **35** (1): 1 - 6.
- [22] VON GADOW K, FÜELDNER K. *Zur Methodik der Bestandesbeschreibung* [R]. Klieken: Vortrag Anlaesslich der Jahrestagung der AG Forsteinrichtung, 1992.
- [23] 吴巩固, 王政权. 水曲柳落叶松人工混交林中树木个体生长的竞争效应模型[J]. 应用生态学报, 2000, **11** (5): 646 - 650.  
WU Gongsheng, WANG Zengquan. Individual tree growth-competition model in mixed plantation of manchurian ash and dahurian larch [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2000, **11** (5): 646 - 650.
- [24] 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, **12** (2): 1 - 5.  
ZHOU Hongmin, HUI Gangying, ZHAO Zhonghua, *et al.* Treatment methods of plot boundary trees in spatial forest structure analysis [J]. *Sci Silv Sin*, 2009, **12** (2): 1 - 5.
- [25] 徐文兵, 汤孟平. 全站仪双边交会法测定树木三维坐标[J]. 浙江林学院学报, 2010, **27** (6): 815 - 820.  
XU Wenbing, TANG Mengping. Tree's 3D coordinates positioned by two-side intersection with total station [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (6): 815 - 820.
- [26] VON GADOW K, PUUMALAINEN J. Neue herausforderungen fur die waldoko system planung [J]. *AFZ Der Wald*, 1998, **20**: 1248 - 1250.
- [27] 黄丽霞, 袁位高, 黄建花, 等. 不同经营方式下毛竹林的林分空间结构比较研究[J]. 浙江林业科技, 2008, **28** (3): 1 - 4.  
HUANG Lixia, YUAN Weigao, HUANG Jianhua, *et al.* Comparative study on spatial structure of *Phyllostachys heterocyclus* var. *pubescens* stand with different management [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2008, **28** (3): 1 - 4.
- [28] 聂道平. 毛竹林结构的动态特性[J]. 林业科学, 1994, **30** (3): 201 - 207.  
NIE Daoping. Structural dynamics of bamboo forest stands [J]. *Sci Silv Sin*, 1994, **30** (3): 201 - 207.