

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 6 期 2014 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)

长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)

不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@ 163.com

DOI: 10.5846/stxb201307081859

仇建习, 汤孟平, 沈利芬, 娄明华, 庞春梅. 近自然毛竹林空间结构动态变化. 生态学报, 2014, 34(6): 1444-1450.

Qiu J X, Tang M P, Shen L F, Lou M H, Pang C M. Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1444-1450.

近自然毛竹林空间结构动态变化

仇建习¹, 汤孟平^{1,2,*}, 沈利芬¹, 娄明华¹, 庞春梅³

(1. 浙江农林大学环境与资源学院, 临安 311300; 2. 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室, 临安 311300;

3. 天目山国家级自然保护区管理局, 临安 311300)

摘要: 2009 年 7 月在浙江省天目山国家级自然保护区, 建立了 1 块 100 m×100 m 的近自然毛竹林固定标准地, 采用相邻网格法进行每竹调查, 利用全站仪测量毛竹的三维坐标(X, Y, Z), 结合 2010—2012 年的 3 次毛竹复查数据, 利用角尺度、大小比数和年龄隔离度 3 个结构指数, 分析毛竹林空间结构的动态特征。结果表明: 天目山近自然毛竹林大小年现象明显, 平均胸径逐年增加; 空间分布格局特征表现为 2009、2012 年毛竹林呈随机分布, 2010、2011 年毛竹林呈聚集分布; 各年份毛竹林角尺度均服从左偏近似正态分布, 且各年份的角尺度无显著性差异($P>0.05$); 各年份毛竹林的平均大小比数均接近 0.5, 林分处于中庸状态; 各年份毛竹林大小比数分布频率出现均衡分布特征, 林分较稳定, 且各年份间的大小比数无显著性差异; 各年份毛竹林的年龄多样性及年龄隔离程度均较高; 年龄隔离度逐年增加, 毛竹小年向大年过渡期毛竹林年龄隔离度有显著性差异($P<0.05$), 大年向小年的过渡期则无显著性差异。

关键词: 毛竹林; 空间结构; 角尺度; 大小比数; 年龄隔离度; 动态

Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands

QIU Jianxi¹, TANG Mengping^{1,2,*}, SHEN Lifan¹, LOU Minghua¹, PANG Chunmei³

1 School of Environment and Resource, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Linan 311300, China

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Linan 311300, China

3 Authority in National Nature Reserve of Tianmu Mountain, Linan 311300, China

Abstract: Moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) forests are one of the most economic forests in China, and they possess a lot of advantages over other forest types, such as rapid growth, wide distribution, and high production. Traditional moso bamboo stand management involves a predatory management approach which focuses on economic benefits, blind pursuit the production of bamboo and bamboo shoots, and a lack of emphasis regarding the relationship between structure and function. Due to these reasons, this management leads to a series of problems such as soil degradation, increases in plant diseases and insect problems, the inability to withstand natural disasters, and environmental degradation. Thus, this suggests that the relationship between stand structure and function is a key factor to the sustainable management of these bamboo forests.

Traditional descriptions of moso bamboo stand structure have focused on stand-level collective attributes such as density, species composition, and basal area. However, given a general lack of spatial information, non-spatial attributes are difficult to use for accurately estimating whole stand characteristics. The spatial structure of a forest can reflect environmental processes, such as competition, regeneration, spatial distribution, and mortality. These factors can affect the

基金项目: 国家自然科学基金(31170595); 国家十二五科技支撑计划(2012BAD22B0503); 浙江省重点科技创新团队(2010R50030); 教育部留学回国人员科研启动金项目(20101561)

收稿日期: 2013-07-08; **修订日期:** 2013-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: goodtmp@sohu.com

stability, the development, and the management of a stand. Therefore, forest spatial structure approach would involve spatial pattern, mingling, and competition. Information regarding bamboo forest spatial structure is necessary for stand structure optimization. Many static spatial studies have been conducted in bamboo forests, including mingling, spatial pattern, and competition, and so on. Compared with other types of forests, bamboo grows faster, and this provides the possibility to study the dynamic change rule of stand spatial structure. Previous studies had not yet shown the dynamic change of moso bamboo stand spatial structure. Therefore, three spatial structure parameters, uniform angle index, neighborhood comparison, and age mingling degree were used to analyze the moso bamboo stand spatial structure dynamics (change) from 2009 to 2012, and thus provide theoretical basis for sustainable moso bamboo forest management.

In July of 2009, one 100 m×100 m standard plot was established in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stand in Tianmu Mountain National Nature Reserve, Zhejiang Province. The plot was divided into 100 units by adjacent grid inventory, and has been annually surveyed four times. Results showed that the moso bamboo stand has a clear on-year and off-year cycle, and the average diameter at breast height (dbh) increased gradually over year. The spatial pattern of the stand presents a random distribution in 2009 and 2012, but the 2010 and 2011 years showed an aggregation distribution pattern. The frequency distribution of uniform angle index of each year was described by a left-skewed normal distribution trend, and had no significant difference during these years ($P>0.05$). The average neighborhood comparison values of each year were close to 0.5, suggesting that the stand has kept an intermediate status. The frequency distribution of neighborhood comparison of each year appeared to have a balanced trend, suggesting that the stand was in a stable state. However, the neighborhood comparison showed no significant difference of each year. The stand showed high age diversity and age isolation levels, and the age mingling value increased as the years increased. The age mingling in the transition period from on-year to off-year was significantly different ($P<0.05$), but in the transition from off-year to on-year there was no significant difference.

Key Words: *Phyllostachys edulis* stand; spatial structure; uniform angle index; neighborhood comparison; age mingling degree; dynamic

毛竹 (*Phyllostachys edulis*) 又名楠竹, 是我国竹类资源中数量最多, 面积最大, 用途最为广泛, 价值最高的经济竹种^[1-2]。传统的毛竹林经营以经济效益为导向, 片面追求竹材与竹笋的产量, 长期掠夺性经营, 对结构与功能关系不够重视, 导致地力衰退、抗病虫害及抵御自然灾害能力下降、生态环境恶化等问题^[3-4]。因此, 揭示毛竹林结构与功能关系是毛竹林可持续经营的前提。

传统的森林结构分析主要采用林分密度、树种组成、直径结构、年龄结构、蓄积量等非空间结构指标^[5-6], 这些指标由于缺乏空间信息, 很难对林分整体特征作出准确判断。森林空间结构反映林分内光照、水分、温度、营养物质等微环境的空间分布, 从而间接决定了树木之间的竞争优势及其空间生态位, 在很大程度上影响着林分的稳定性、发展的可能性与经营空间的大小^[7-9]。森林空间结构主要包括空间分布格局、混交和竞争 3 个方面^[9-10]。在毛竹林

经营管理中, 林分的空间结构信息是林分结构优化的重要依据^[11]。目前, 已开展了毛竹林空间结构的静态研究, 包括空间分布格局^[12-14]、竞争^[14-15]和混交度^[14,16]等。事实上, 与乔木林相比, 毛竹具有速生的特点, 这为研究毛竹林空间结构动态变化规律提供了可能, 但这方面的研究少见报道。

本研究在浙江省天目山国家级自然保护区内, 选择少受人为干扰的近自然毛竹林为对象, 采用角尺度、大小比数和年龄隔离度 3 个空间结构指数, 分析毛竹林空间结构动态变化规律, 旨在为毛竹林可持续经营提供理论依据。

1 研究区概况

天目山国家级自然保护区即西天目山, 位于浙江西北部临安市境内 (119°23'47"—119°28'27"E 30°18'30"—30°24'55"N), 总面积 1050 hm², 主峰海拔 1506 m。年平均气温 8.8—14.8 ℃, ≥10 ℃, 年积温

2500—5100 ℃。年降水量 1390—1870 mm, 相对湿度 76%—81%。该自然保护区于 1996 年加入联合国教科文组织国际人与生物圈保护区(MAB)网络成员, 是浙江省唯一加入 MAB 网络的森林与野生动物类型的自然保护区, 西天目山享有“天然植物园”和“大树王国”的称号, 丰富的植物多样性和古老的植物种类, 以及植物区系的南北交汇特点, 是中外植物学家关注的热点之一。近自然毛竹林作为一种特殊的森林植被类型, 主要分布于在海拔 350—900 m。毛竹林立地条件和林内环境的相互作用, 造成林下植被生物多样性较低。主要有豹皮樟(*Litsea coreana varsinensis*)、短尾柯(*Lithocarpus brevipendulus*)、微毛柃(*Eurya hebeclados*)、细叶青冈(*Cyclobalanopsis myrsinaefolia*)、连蕊茶(*Camelia fraterna*)、马银花(*Rhododendron ovatum*)和牛鼻栓(*Fortunearia sinensis* Rehd et Wils)等。

2 研究方法

2.1 样地设置

2009 年 7 月, 在浙江省天目山国家级自然保护区, 建立了 1 块面积为 100 m×100 m 的近自然毛竹固定标准地, 标准地中心海拔 840 m, 主坡向南偏东 30°。利用南方全站仪 NTS355 设定标准地的坐标轴, 采用相邻网格法将整个标准地划分为 100 个 10 m×10 m 的样方。用全站仪对标准地内每棵毛竹进行精确定位, 确定毛竹基部的三维坐标(x, y, z)。采用枝痕法、观杆法识别毛竹年龄, 并在毛竹 1.5 m 位置用号竹法标记毛竹年份和竹号。每木调查测定毛竹胸径、竹高、年龄、枝下高、冠幅、弯曲状态等因子。此后, 2010—2012 年对毛竹林固定标准地进行了 3 次复查。

2.2 边缘校正

为避免边缘效应, 采用距离缓冲区方法进行边缘校正^[17]。在标准地内距每条边线 5 m 之内的范围为带状缓冲区, 即图 1 中实线与虚线之间间隔区域, 虚线以内区域为 90 m×90 m 的矫正标准地。矫正标准地内毛竹作对象竹和竞争竹处理, 缓冲区内毛竹之作对象处理。

2.3 空间结构单元

由林分内任意 1 株对象竹与离它最近的 n 株相邻竹构成了毛竹林分空间结构的基本单位, 即空间

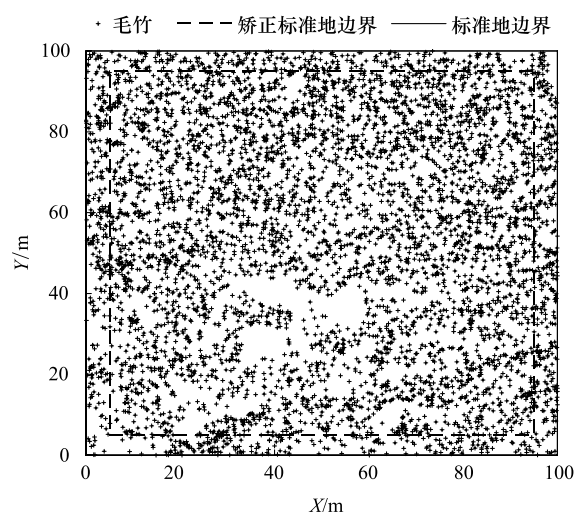


图 1 标准地毛竹定位图

Fig.1 Location map of bamboos in the plot

结构结构单元。惠刚盈等^[18]研究表明, 由 1 株对象木与 4 株相邻木所组成的结构单元可以满足林分空间结构分析的要求。因此本研究选择 $n=4$ 来创建林分空间结构单元。

2.4 空间结构指数及计算方法

2.4.1 角尺度

从对象竹出发, 任意 2 株最近相邻竹的夹角有 2 个, 小角设为 α , 大角为 β , 角尺度(W_i)被定义为 α 角小于标准角 α_0 ($\alpha_0 = 72^\circ$) 的个数占所考察 4 个 α 角的比例^[19]。其公式如下:

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

式中, W_i 是第 i 对象竹的角尺度, a_{ij} 为离散性变量, 当第 j 个 α 角小于标准角 α_0 时, $a_{ij} = 1$, 反之, $a_{ij} = 0$ 。 W_i 取值有以下 5 种: 0 (绝对均匀), 0.25 (均匀), 0.5 (随机), 0.75 (不均匀), 1 (聚集)。

根据角尺度判别标准^[19], 毛竹林空间分布格局有 3 种, 平均角尺度 $W \in [0.475, 0.517]$, 随机分布; < 0.475 , 均匀分布; > 0.517 , 聚集分布。

2.4.2 大小比数

林分大小比数被定义为胸径、树高和冠幅等指标大于对象木的相邻木占所考察的全部最近相邻木的比例。本研究采用胸径大小比数:

$$U_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 K_{ij} \quad (2)$$

式中, U_i 为对象竹 i 的大小比数; K_{ij} 为离散变量, 相邻竹 j 胸径大于对象竹 i 时, $K_{ij} = 1$, 反之, $K_{ij} = 0$; U_i 的取

值有以下 5 种:0(优势),0.25(亚优势),0.5(中庸),0.75(劣势),1(绝对劣势)。

2.4.3 年龄隔离度

混交度被定义为对象木 i 的 4 株最近邻木中与对象木不属同种个体所占比例^[20]。本研究以近自然毛竹纯林为对象,不能直接应用描述物种隔离程度的混交度。然而,毛竹年龄是更新生长能力的重要标志^[21],也是反映毛竹林结构的重要组成部分^[22]。将不同竹龄视为不同种,则混交度可表示不同竹龄的相互隔离程度,简称年龄隔离度^[20]。本文将采用 Gadow 等^[23]提出的混交度公式计算年龄隔离度:

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

式中, M_i 为对象竹 i 的年龄隔离度; v_{ij} 为离散变量,当对象竹 i 与相邻竹 j 同龄时, $v_{ij}=0$,反之, $v_{ij}=1$ 。 M_i 取值有以下 5 种:0.00(同龄);0.25(弱度异龄);0.50(中度异龄);0.75(强度异龄);1.00(极强度异龄)。

2.4.4 数据统计计算

空间结构指数的分析比较都采用均值。应用

Visual Basic 高级程序设计语言,编制计算角尺度、大小比数和年龄隔离度 3 个指数的程序。采用单因素方差分析方法(ANOVA)比较各空间结构指数不同年份之间的差异。

3 结果与分析

3.1 林分生长因子变化

毛竹林主要生长因子动态变化见表 1。可见,毛竹林大小年现象非常明显,毛竹大年(2010、2012)的新竹株数远高于小年(2009、2011)。2009 年,毛竹总株数、断面积、平均胸径均为最小值,这是因为除 2008 年导致大量毛竹死亡的自然雪灾的环境因素以外^[24],内在因素是 2009 年是毛竹小年,综合导致毛竹林分主要生长因子普遍较低。2010 年的新竹株数、总株数、断面积均为最高。2011、2012 年的新竹株数、总株数、断面积均低于 2010 年,说明 2011、2012 两年的枯损株数大于新竹株数。毛竹枯损的主要原因是老竹折断、倒伏和病虫害等。毛竹林平均胸径有逐年增加趋势。

表 1 2009—2012 年毛竹林分主要生长因子

Table 1 Main growth factors of Bamboo stand from 2009 to 2012

年份 Year	新竹株数 New growth number	总株数 All number	断面积 Basal area/(m ² /hm ²)	胸径 Diameter at breast height/cm	
				均值 Mean	标准差 Standard deviation
2009	43	5486	51.435	10.8	1.58
2010	1297	6550	63.182	11.0	1.61
2011	4	5976	58.519	11.1	1.57
2012	762	6036	60.352	11.2	1.57

3.2 角尺度

角尺度是通过描述对象竹周围最近邻竹空间分布均匀性来判定林分空间分布格局。2009—2012 年标准地内毛竹林的角尺度频率分布及其均值见表 2。可知,2009、2012 年毛竹林呈随机分布,但位于随机

分布状态的下限临界值附近,接近聚集分布;2010、2011 年毛竹林呈聚集分布,但聚集程度较低,毛竹林分空间分布格局随年份发生动态变化。不同年份毛竹林的 $W_i=0$ 和 $W_i=1$ 时分布频率都很低,即极少有绝对均匀和绝对不均匀的结构单元出现; $W_i=0.25$

表 2 2009—2012 年标准地毛竹林角尺度及其频率分布

Table 2 Mean uniform angle index in bamboo stands and its frequency distribution from 2009 to 2012

年份 Year	角尺度 W_i Uniform angle index						平均角尺度 Average uniform angle index
	0	0.25	0.5	0.75	1	合计 All	
2009	0.01	0.20	0.58	0.17	0.04	1	0.51232
2010	0.01	0.18	0.58	0.18	0.05	1	0.51935
2011	0.01	0.18	0.58	0.18	0.05	1	0.51887
2012	0	0.20	0.58	0.18	0.04	1	0.51313

和 $W_i = 0.75$ 时,分布频率均相对增加; $W_i = 0.5$ 时的分布频率最高,4 年均均为 58%。 $W_i = 0.5$ 左侧的频率与右侧大致相当,可见毛竹林角尺度接近于正态分布,为进一步证明该结论,对毛竹林角尺度进行正态分布假设检验,结果表明各年份毛竹林角尺度均服从左偏近似正态分布。单因素方差分析方法检验结果表明,各年份之间的毛竹林分角尺度的均值无显著性差异 ($P > 0.05$),这是毛竹林长期自然演替的一个重要特征。

3.3 大小比数

大小比数用于描述林木的生长优势(非均匀性),即林木个体的大小分化程度。2009—2012 年

标准地内毛竹大小比数频率分布及其均值见表 3。各年份毛竹林平均大小比数接近 0.50,表明林分胸径大小分化不明显,单个结构单元中胸径比对象竹大的和比它小的相邻竹数量基本相同,因此处于中庸状态。各年份毛竹林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相差不大(20%左右)。大小比数的均衡分布说明毛竹林分的稳定性较高。毛竹林平均大小比数随年份增加呈略微上升的趋势,表明立竹之间的直径差异正在缓慢增大。但是,单因素方差分析方法检验结果表明,各年份毛竹林分大小比数的均值无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 2009—2012 年毛竹林平均大小比数及其频率分布

Table 3 Mean Neighborhood comparison in bamboo stand and its frequency distributing from 2009 to 2012

年份 Year	大小比数 U_i Neighborhood comparison					平均大小比数	
	0	0.25	0.5	0.75	1	合计 All	Average Neighborhood comparison
2009	0.20	0.21	0.20	0.20	0.19	1	0.48942
2010	0.20	0.2	0.20	0.21	0.19	1	0.49322
2011	0.21	0.20	0.20	0.20	0.19	1	0.49323
2012	0.20	0.20	0.20	0.21	0.19	1	0.49503

3.4 年龄隔离度

毛竹纯林的年龄隔离度反映毛竹林内竹龄多样性及竹龄空间配置情况^[14]。2009—2012 年毛竹林平均年龄隔离度如图 2 所示(不同小写字母表示毛竹林不同年份年龄隔离度差异显著, $P < 0.05$)。可见,2009—2012 年毛竹林平均年龄隔离度 ≥ 0.705 , 始终保持着年龄隔离程度和年龄多样性较高的状态,并呈逐年上升趋势。单因素方差分析方法检验结果表明,除 2010 年与 2011 年之间毛竹林年龄隔离度无显著性差异以外,其他年份之间的毛竹年龄隔离度均有显著性差异。由此可知,在毛竹大年(2010)向小年(2011)过渡的时间段,毛竹林年龄隔离度无显著性变化。毛竹小年(2009,2011)向大年(2010,2012)过渡的时间段,毛竹林年龄隔离度存在显著性变化。

各年份毛竹林的年龄多样性及年龄隔离度逐年增加,主要表现为年龄隔离度 $M_i \leq 0.5$ 的同龄、弱度异龄、中度异龄的结构单元逐年减少, $M_i > 0.5$ 的强度异龄与极强度异龄的结构单元则逐年增多(图 3)。毛竹大年(2010、2012)的年龄隔离度增长幅度明显大于小年(2011),原因在于大年的新竹株数远多于

小年,形成大量异龄性高的空间结构单元。2009 年的毛竹林年龄隔离度明显小于其它年份,这是由于 2008 年的自然雪灾导致大量毛竹死亡,降低林分异龄性,且 2009 年是毛竹小年,对增加不同年龄结构的单元数影响不大。因此,新竹和自然灾害(如雪灾)是导致天目山毛竹纯林年龄隔离度变化的主要原因。

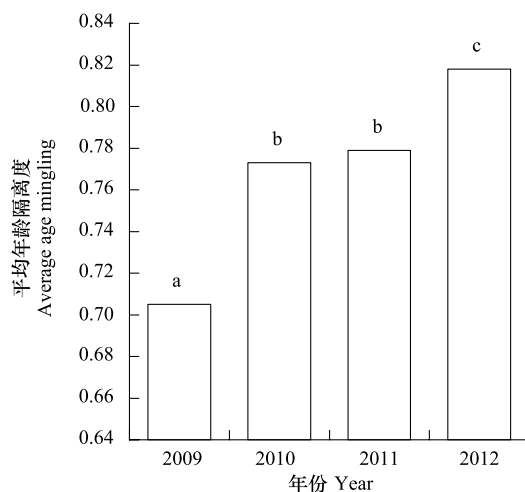


图 2 2009—2012 毛竹林平均年龄隔离度

Fig.2 Frequency distribution of age mingling in Bamboo stand from 2009 to 2012

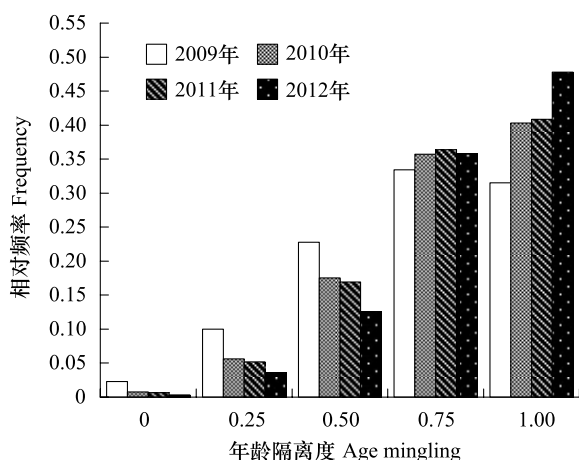


图3 2009—2012 毛竹林年龄隔离度分布频率

Fig.3 Mean age mingling in Bamboo stand from 2009 to 2012

4 结论与讨论

利用林分空间结构指数角尺度、大小比数和年龄隔离度对 2009—2012 年天目山近自然毛竹林空间结构的动态变化进行了研究,得出以下结论:

(1) 毛竹林大小年现象明显。2008 年自然雪灾造成大量毛竹死亡的外在因素与 2009 年毛竹小年的内在因素,综合导致 2009 年标准地内毛竹的总株数、断面积、算数平均胸径均为最低。毛竹林平均胸径逐年增加。

(2) 毛竹林空间分布格局随年份发生动态变化,2009、2012 年毛竹林呈随机分布,位于随机分布状态的下限临界值附近,接近聚集分布,2010、2011 年毛竹林呈轻度聚集分布。国内专家学者对毛竹林空间分布格局的研究存在不一致的结论。兰思仁^[12]研究认为武夷山毛竹林空间分布格局呈随机分布状态;黄丽霞等^[16]研究认为不同经营方式下的毛竹林呈聚集分布;邓英英等^[14]研究认为天目山近自然毛竹纯林呈聚集分布。但这些关于毛竹林分布格局的研究都是建立在静态分析的基础上,忽视了毛竹林空间结构动态变化的事实。张家城等^[25]研究认为群落向顶级群落发育演替的相当长时期内,群落中优势树种的分布均有在集群和随机分布间的波动性变化,这种波动性变化过程伴随着集群度递减,并当顶级群落发育成熟时,最终较稳定地呈现随机分布格局。

(3) 毛竹林角尺度频率分布形成以均匀分布为对称轴的左偏近似正态分布,均匀分布在空间结构

单元中所占频率均为最高,均为 58%,各年份之间的毛竹林角尺度无显著差异。

(4) 全林分平均胸径大小比数逐年缓慢增加,但是各年份毛竹林平均大小比数均接近 0.50,表明林分胸径差异不明显,林分基本处于中庸状态。各年份毛竹林大小比数的频率分布呈现出均衡分布的特征,毛竹林分的稳定性较高。毛竹林平均大小比数随年份增加呈略微上升的趋势,但各年份之间的毛竹林分大小比数的均值无显著差异。

(5) 毛竹林平均年龄隔离度值 $M_i \in [0.705, 0.818]$,说明毛竹林的年龄多样性及年龄隔离程度较高。毛竹林中同龄、弱度异龄、中度异龄的结构单元逐年减少,强度异龄与极强度异龄的结构单元则逐年增加。毛竹林平均年龄隔离度逐年增加,其中毛竹大年的平均年龄隔离度增长幅度明显高于小年。新竹株数、自然灾害是导致天目山毛竹纯林年龄隔离度变化的主要原因。毛竹大年向小年的过渡期,毛竹林年龄隔离度无显著变化;小年向大年的过渡期,毛竹林年龄隔离度有显著变化。

本研究采用时间尺度与空间尺度相结合的方法,分析毛竹林空间结构的动态变化,无论是在理论研究上或实践应用上都能更加全面有效地反映毛竹林的空间结构,为建立毛竹林空间结构优化模型,以及制定优化毛竹林空间结构的经营方案提供了科学依据。

References:

- [1] Chen S L, Wu B L, Zhang D M, Sheng F Q, Hu J J. Study on crown structure and function of *Phyllostachys pubescens* stands for culm and shoot production. *Forest Research*, 2001, 14 (4): 349-355.
- [2] Li X T, Jin A W, Li G D, Xia G Q. Management strategies to transform the low-yield or low efficiency moso bamboo forests. *Journal of Bamboo Research*, 2012, 31(2): 47-51.
- [3] Chen C J, Dong J W, Jiang Q X. Study on causes, types and improvement measures of low-yield forests of mao bamboo of Fujian province. *Journal of Fujian College of Forestry*, 1994, 14(4): 366-370.
- [4] Ma S J, Li Z C, Wang B, Liu R J, Ge R L T, Wang G. Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32 (8): 2603-2611.
- [5] Hui G Y, Gadow K V. *Modern Forest Management of Germany*. Beijing: Press of University of Science and Technology of China, 2001.
- [6] Boyden S, Binkley D, Shepperd W. Spatial and temporal patterns in structure, regeneration, and mortality of an old-growth

- ponderosa pine forest in the Colorado Front Range. *Forest Ecology and Management*, 2005, 219(1): 43-55.
- [7] Kurttila M. The spatial structure of forests in the optimization calculations of forest planning- a landscape ecological perspective. *Forest Ecology and Management*, 2001, 142(1/3): 129-142.
- [8] Akhavan R, Sagheb-Talebi K, Zenner E K, Safavimanesh F. Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. *European Journal of Forest Research*, 2012, 131(5): 1355-1366.
- [9] Tang M P. *The Theory and Practice of Forest Spatial Management*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007.
- [10] Aguirre O, Hui G Y, Gadow K V, Jiménez J. An analysis of forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management*, 2003, 183(1/3): 137-145.
- [11] Wu J C, Zhang H R, Chen X M. Spatial structure of the natural mixed forestry in Jingouling forest farm. *Journal of Northwest Forestry University*, 2008, 23(5): 178-181.
- [12] Lan S R. A study on distribution pattern of natural *phyllostachys heterocycla* var. *pubescens* forests in Wuyi mountain. *Journal of Fujian College of Forestry*, 1995, 15(3): 277-280.
- [13] Shi P J, Guo S Q, Yang Q P, Wang B, Yang G Y, Fang K. Inhomogeneous spatial point pattern analysis of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*). *Acta Ecologica Sinica*, 30(16): 4401-4407.
- [14] Deng Y Y, Tang M P, Xu W B, Chen Y G, Lou M H, Zhao M S. Spatial structure of bamboo culm of an almost nature, pure *Phyllostachys pubescens* forest in Mount Tianmu. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2011, 28(2): 173-179.
- [15] Cao Y H, Xiao J H, Chen S L, Wu B L, Wu M, Zhang D M. Effect of evergreen broad-leaved trees on *Phyllostachys pubescens* growth and their competition in the mixed forest. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2006, 23(1): 35-40.
- [16] Huang L X, Yuan W G, Huang J H, Zhu J R, Shen A H, Zhou K K, Lin H L, Wen L N. Comparative study on spatial structure of *phyllostachys heterocycla* var. *pubescens* stand with different management. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2008, 28(3): 48-51.
- [17] Zhou H M, Hui G Y, Zhao Z H, Hu Y B. Treatment methods of plot boundary trees in spatial forest structure analysis. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(2): 1-5.
- [18] Hui G Y, Hu Y B. Measuring species spatial isolation in mixed forests. *Forest Research*, 2001, 14(1): 23-27.
- [19] Hui G Y, Li L, Zhao Z H, Dang P X. The comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4717-4728.
- [20] Tang M P, Xu W B, Chen Y G, Deng Y Y, Zhao M S. Relationship between spatial structure and biomass of a close-to-nature *phyllostachys edulis* stand in Tianmu mountain. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(8): 1-6.
- [21] Jiang Z H. *Bamboo and Rattan in the World*. LiaoNing Science and Technology Publishing House, 2002.
- [22] Zheng Y S, Hong W. A study on age structure model of bamboo stand and its application. *Scientia Silvae Sinicae*, 1998, 34(3): 32-39.
- [23] Gadow K V, Bredenkamp B V. *Forest Management*. Pretoria: Academica Press, 1992.
- [24] Yin X H, Weng Y M, Dong Y F, Fu H M, Wu L D. Damage characteristics of *Phyllostachys pubescens* forests in freezing rain and snow hazards. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(6): 823-827.
- [25] Zhang J C, Chen L, Guo Q S, Nie D P, Bai X L, Jiang Y X. Research on the change trend of dominant tree population distribution patterns during development process of climax forest communities. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(3): 256-268.

参考文献:

- [1] 陈双林, 吴柏林, 张德明, 盛方清, 胡建军. 笋材两用毛竹林冠层结构及其生产力功能研究. *林业科学研究*, 2001, 14(4): 349-355.
- [2] 李雪涛, 金爱武, 李国栋, 夏根清. 毛竹低产低效林的经营策略研究. *竹子研究汇刊*, 2012, 31(2): 47-51.
- [3] 陈存及, 董建文, 江其祥. 福建毛竹低产林成因、类型及改造. *福建林学院学报*, 1994, 14(4): 366-370.
- [4] 马少杰, 李正才, 王斌, 刘荣杰, 格日乐图, 王刚. 不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异. *生态学报*, 2012, 32(4): 2603-2611.
- [5] 惠刚盈, Gadow K V. *德国现代森林经营技术*. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [9] 汤孟平. *森林空间经营理论与实践*. 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [11] 武纪成, 张会儒, 陈新美. 金沟岭林场天然混交林空间结构分析. *西北林学院学报*, 2008, 23(5): 178-181.
- [12] 兰思仁. 武夷山天然毛竹林分布格局的研究. *福建林学院学报*, 1995, 15(3): 277-280.
- [13] 时培建, 郭世权, 杨清培, 王兵, 杨光耀, 方楷. 毛竹的异质性空间点格局分析. *生态学报*, 2010, 30(16): 4401-4407.
- [14] 邓英英, 汤孟平, 徐文兵, 陈永刚, 娄明华, 赵明水. 天目山近自然毛竹纯林的竹秆空间结构特征. *浙江农林大学学报*, 2011, 28(2): 173-179.
- [15] 曹永慧, 萧江华, 陈双林, 吴柏林, 吴明, 张德明. 竹阔混交林中阔叶树对毛竹生长的影响及竞争关系. *浙江林学院学报*, 2006, 23(1): 35-40.
- [16] 黄丽霞, 袁位高, 黄建花, 朱锦茹, 沈爱华, 周侃侃, 林海礼, 温莉娜. 不同经营方式下毛竹林的林分空间结构比较研究. *浙江林业科技*, 2008, 28(3): 48-51.
- [17] 周红敏, 惠刚盈, 赵中华, 胡艳波. 林分空间结构分析中样地边界木的处理方法. *林业科学*, 2009, 45(2): 1-5.
- [18] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究. *林业科学研究*, 2001, 14(1): 23-27.
- [19] 惠刚盈, 李丽, 赵中华, 党普兴. 林木空间分布格局分析方法. *生态学报*, 2007, 27(11): 4717-4728.
- [20] 汤孟平, 徐文兵, 陈永刚, 邓英英, 赵明水. 天目山近自然毛竹林空间结构与生物量的关系. *林业科学*, 2011, 47(8): 1-6.
- [21] 江泽慧. *世界竹藤*. 辽宁科学技术出版社, 2002.
- [22] 郑郁善, 洪伟. 毛竹林丰产年龄结构模型与应用研究. *林业科学*, 1998, 34(3): 32-39.
- [24] 尹新华, 翁益明, 董云富, 傅红梅, 吴礼栋. 毛竹受雨雪冰冻危害的受损特点. *浙江林学院学报*, 2008, 25(6): 823-827.
- [25] 张家城, 陈力, 郭泉水, 聂道平, 白秀兰, 蒋有绪. 演替顶极阶段森林群落优势树种分布的变动趋势研究. *植物生态学报*, 1999, 23(3): 256-268.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifen, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Appling SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 薛建辉

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元