

# 小陇山 2 种典型天然林空间结构参数分布特征

张岗岗<sup>1</sup>, 王得祥<sup>1\*</sup>, 柴宗政<sup>1</sup>, 张丛珊<sup>1</sup>, 刘文桢<sup>2</sup>, 张宋智<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 甘肃省小陇山林业科学研究所, 甘肃 天水 741020)

**摘要:**采用林分空间结构参数一元分布、二元分布、林分综合指数和距离分析方法,探讨小陇山林区 2 种典型天然林空间结构特征。结果显示:(1)油松天然林混交度为 0.397,树种隔离程度较低,锐齿栎天然林混交度为 0.797,混交良好,油松、锐齿栎天然林胸径大小比数分别为 0.507、0.485,林分均处于中庸状态,角尺度分别为 0.511、0.508,林木分布格局均属随机分布。(2)油松、锐齿栎天然林中相同混交程度或优劣程度的林木大多处于随机分布,相同混交程度或分布格局的林木处于不同优劣程度的林木大致相等。区别在于油松天然林中同一优劣程度或分布格局的林木大多与同种相邻,而锐齿栎天然林中同一优劣程度或分布格局林木大多处于强度和极强度混交。(3)油松、锐齿栎天然林林分空间结构指数(*FSSI*)分别为 0.526、0.739,林分空间结构距离(*FSSD*)分别为 0.788、0.576,锐齿栎林空间结构明显优于油松林。*FSSI* 和 *FSSD* 具有极显著的线性关系, $FSSD = -1.4815 \times FSSI + 1.6257$ ,  $R^2 = 0.9906$  ( $P < 0.01$ ),二者在表述林分空间结构方面具有较强的一致性。研究表明:二元分布、林分空间结构指数和距离分别是林木水平和样地水平研究林分空间结构较为有效的方法,可为小陇山林区林分微观结构分析和精细的结构调整提供新途径。

**关键词:**小陇山;天然林;一元分布;二元分布;林分空间结构指数;林分空间结构距离

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

## Distribution Characteristics of Two Typical Natural Forest Spatial Structure Parameters in Xiaolongshan

ZHANG Gang-gang<sup>1</sup>, WANG De-xiang<sup>1</sup>, CHAI Zong-zheng<sup>1</sup>, ZHANG Cong-shan<sup>1</sup>,  
LIU Wen-zhen<sup>2</sup>, ZHANG Song-zhi<sup>2</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China;

2. Xiaolongshan Research Institute of Forestry of Gansu Province, Tianshui 741020, Gansu, China)

**Abstract:** Using univariate distribution, bivariate distribution, forest spatial structure index and distance, the structural characteristics of two typically natural forests located at Xiaolongshan of Gansu Province were analyzed. The results are as follows: (1) The average mingling value of *Pinus tabuliformis* natural forest was 0.397 and badly mixed, while *Quercus aliena* var. *acuteserrata* natural forest's was 0.797 and well segregated. The DBH dominances of *P. tabuliformis* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* were 0.507 and 0.485 separately, the state of each forest belonged to medium. The average uniform angle index values of them were 0.511 and 0.508 respectively, both were random distribution. (2) In *P. tabuliformis* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* natural forests, most trees with same mingling class or dominance degree were randomly distributed, and the trees with same mingling class or distribution pattern were basically equal at different dominance degrees. The main difference was that in *P. tabuliformis*

收稿日期:2014-12-16

项目基金:林业公益性行业科研专项“天保工程区天然公益林抚育经营关键技术研究”(201204504)、国家自然科学基金“秦岭松栎林建群种更新格局对种子扩散过程及影响因素的响应”(31470644)

作者简介:张岗岗(1989—),男,陕西子长人,在读硕士研究生,主要从事森林可持续经营与评价研究。E-mail:zg201394@163.com.

\* 通讯作者:教授,博士生导师,主要从事森林生态和可持续经营研究。E-mail:wangdx66@126.com.

*mis* natural forests, the trees with same dominance degree or distribution pattern were almost surrounded by the same species while In *Q. aliena* var. *acuteserrata* natural forest, they were well mixed. (3) In both *P. tabuliformis* and *Q. aliena* var. *acuteserrata* natural forest, the forest spatial structure index (*FSSI*) were 0.526 and 0.739 respectively, forest spatial structure distance (*FSSD*) were 0.788 and 0.576 separately, the spatial structure of the latter was better than that of the former obviously. The *FSSI* and *FSSD* had a very significant linear relationship,  $FSSD = -1.4815 \times FSSI + 1.6257$ ,  $R^2 = 0.9906$  ( $P < 0.01$ ), and strong consistency in terms of expression stand spatial structure. It can be concluded that the bivariate distribution, forest spatial structure index and distance can be used to quantitatively analyze the forest microstructure distribution characteristics from two different levels, and provide a new way to accurate structure adjustment for Xiaolongshan.

**Key words:** Xiaolongshan; natural forest; univariate distribution; bivariate distribution; forest spatial structure index; forest spatial structure distance

林分空间结构体现了树木在林地上的分布格局及其属性在空间上的排列方式,决定了树木之间的竞争势及其空间生态位,且在很大程度上决定了林分的稳定性、发展的可能性和经营空间大小<sup>[1]</sup>。对林分空间结构及其空间关系的描述和解释是制定森林经营方案的有效手段,已成为森林结构研究的焦点<sup>[1-6]</sup>,但这些研究的共同特征是采用结构参数的均值或者一元分布描述空间结构,只能各自独立地描述林分整体单方面的特征或者对林分单方面进行逐步优化调整。比如角尺度分布图仅展示林分整体的分布状况,而与混交度或大小比数没有任何关系;混交度分布图仅能够提供林分整体的混交状态,而不涉及直径大小或分布;直径大小比数分布图仅能说明树木大小分化,而与另外两个指标无关<sup>[7]</sup>。而复杂的林分结构往往是由结构参数两个或多个方面之间相互联系、相互转化、相互制约的动态过程中形成的。因此,采用结构参数的一元分布或各自均值只能刻画单方面或整体的结构特征,而无法同时提供两个或多个方面的林分结构信息,具有一定的局限性。因此,将林分结构的两个或多个方面作为整体来研究林分空间结构的特征和变化,才能更为客观的表征森林结构与功能质量<sup>[8]</sup>。以往林分结构特征分析研究中,尽管有将结构参数联合起来作为整体来考量的意识和初步研究<sup>[7-11]</sup>,但迄今尚未有成熟的理论体系和实践基础来检验这些方法的应用潜力、揭示不同水平相邻木关系的内在规律,及其如何应用这些结构特征来科学地指导森林结构优化经营。小陇山林区是我国西北地区重要的天然林区,在水源涵养、保持水土、维护地区生态平衡、提高环境质量、保护生物多样性以及林业生产等方面发挥着不可替代的作用<sup>[4]</sup>。目前,对小陇山林区天然林

的研究较多,但主要集中于种群生态位和数量特征、树种多样性和结构特征、种群更新动态等方面<sup>[3-6,12-18]</sup>,而对典型天然林空间结构参数分布特征的研究却鲜见报道。本研究利用群落调查的样地资料,采用林分空间结构参数一元分布、二元分布和综合指数分析方法,量化评价小陇山林区油松和锐齿栎天然林空间结构特征,以验证二元分布和综合指数的有效性,为小陇山林区林分微观结构分析和精细的结构调整提供新途径。

## 1 研究区及样地概况

小陇山林区位于甘肃省东南部(33°30'~34°49'N,104°22'~105°43'E),地处秦岭西段,属暖温带向北亚热带过渡地带,兼有我国南北气候特点,大多数地域属暖温湿润—中温半湿润大陆性季风气候。年平均气温7~12℃,极端最高气温39.2℃,极端最低气温-23.2℃,≥10℃积温2444~3825℃,年降水量600~900mm,主要集中于7、8、9月,年蒸发量989~1658mm,相对湿度68%~78%,年日照时数1520~2313h,无霜期130~220d,区内秦岭以北的地带性土壤为灰褐土,以南为黄褐土,垂直分布比较明显。小陇山林区地处我国华中、华北、喜马拉雅、蒙新四大自然植被区系交汇处,有苔藓、蕨类、裸子、被子植物224科945属2700多种,其中木本植物以壳斗科(Fagaceae)、桦木科(Betulaceae)、松科(Pinaceae)、杨柳科(Salicaceae)、榆科(Ulmaceae)等植物为主,构成植被的主要组成成分,草本层以禾本科(Gramineae)、菊科(Compositae)、豆科(Leguminosae)、毛茛科(Ranunculaceae)、兰科(Orchidaceae)为主。

油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)林天然林大样

地位于龙门林场姚坝经营区,海拔1 345 m,东北坡向,平均坡度 $29^\circ$ ,平均胸径23.2 cm,平均树高19.5 m,样地面积2 500  $\text{m}^2$ ,即50 m $\times$ 50 m,树种组成为9油1桦+阔叶;锐齿栎(*Quercus aliena* var. *acuteserrata* Maxim.)天然林大样地位于小陇山林区百花林场王安沟经营区,海拔1 900 m,东北坡向,平均坡度 $37^\circ$ ,样地面积3 600  $\text{m}^2$ ,即60 m $\times$ 60 m,以上两个大样地调查作为二元分布数据源。油松天然林23块小样地位于龙门林场,小样地面积20 m $\times$ 30 m,海拔介于1 424~1 594 m,坡度介于 $26^\circ\sim 41^\circ$ ,平均胸径17.9 cm,平均树高15.7 m;锐齿栎天然林24块小样地分别位于百花、党川、李子、龙门、沙坝5个林场,小样地面积28 m $\times$ 28 m,海拔介于1 609~1 776 m,坡度介于 $30^\circ\sim 41^\circ$ ,平均胸径14.8 cm,平均树高11.3 m,以上油松、锐齿栎小样地调查数据作为一元分布和综合指数数据源。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查

在全面踏查的基础上,选取未经人为干扰的油松、锐齿栎天然林布设固定样地,利用TOPCON全站仪对样地内胸径 $\geq 5$  cm的林木进行每木定位,并记录其树种名称、胸径、树高、枝下高、冠幅、优势度等,在样地4个角和中心设置面积为5 m $\times$ 5 m的样方,调查幼苗、幼树和灌草种类、高度、盖度和生活力等,同时记录各样地的海拔、经纬度、坡向、坡度、坡位和土壤状况等。

### 2.2 内业数据分析

基于相邻木空间关系的林分空间结构指标能够准确地描述林分中林木个体的空间分布特征,因此,本文用混交度描述树种空间隔离程度、大小比数描述林木大小分化程度、角尺度描述林木水平分布格局<sup>[19]</sup>。

角尺度( $W$ )被定义为 $\alpha$ 角小于标准角 $\alpha_0$ ( $=72^\circ$ )的个数占所考察的4个 $\alpha$ 角的比例,其计算式为:

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

式中, $Z_{ij}$ 为离散型变量,其值定义为当第 $j$ 个 $\alpha$ 角小于标准角 $\alpha_0$ 时, $Z_{ij} = 1$ ;反之, $Z_{ij} = 0$ 。 $W_i$ 的5种可能取值对应的林木分布格局描述分别为很均匀、均匀、随机、不均匀、很不均匀分布。

混交度( $M$ )被定义为参照树 $i$ 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,其计算式为:

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

式中, $V_{ij}$ 为离散变量,其值定义为当参照树 $i$ 与第 $j$ 株相邻木非同种时, $V_{ij} = 1$ ;反之, $V_{ij} = 0$ 。 $M_i$ 的5种可能取值对应的隔离程度描述分别为零度、弱度、中度、强度、极强度混交。

大小比数( $U$ )被定义为胸径<sup>[20]</sup>大于参照树 $i$ 的相邻木数占所考察的4株最近相邻木的比例,其计算式为:

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

式中, $K_{ij}$ 为离散变量,其值定义为当相邻木 $j$ 比参照树 $i$ 小时, $K_{ij} = 0$ ;反之, $K_{ij} = 1$ 。 $U_i$ 的5种可能取值对应的林木生长优劣程度描述分别为优势、亚优势、中庸、劣势、绝对劣势。

林分空间结构指数( $FSSI$ )用于量化研究、分析和综合评价天然林林分空间结构的状态和变化动态,其计算式为<sup>[8]</sup>:

$$FSSI = \begin{cases} [M \times (1 - U) \times 2W]^{0.3333}, & W \leq 0.5 \\ [M \times (1 - U) \times 2(1 - W)]^{0.3333}, & W > 0.5 \end{cases}$$

式中: $0 \leq M, U, W \leq 1$ ;  $0 \leq FSSI \leq 1$ ,其值越大,林分空间结构越优。

一般认为林分不受严重干扰,经过漫长进展演替后,混交程度应逐步提高,林层更趋复杂,水平分布格局也应趋于随机分布<sup>[21]</sup>,结合 $W, M, U$ 的定义,可以认为 $M = 1, U = 0, W = 0.5$ 时为理想空间结构点。因此,将林分空间结构距离( $FSSD$ )定义为在林分空间结构参数的“3D散点图”中,不同林分条件下林分空间结构点向理想结构点逼近或远离的趋势,其计算式为<sup>[8]</sup>:

$$FSSD = \sqrt{(M - 1)^2 + U^2 + (W - 0.5)^2}$$

式中: $0 \leq M, U, W \leq 1$ ,  $0 \leq FSSD \leq 1.5$ ,其值越小,现实林分结构越接近理想结构。

本研究利用Winkelmass1.0计算林分数角尺度、混交度、大小比数,计算时为避免边缘效应的影响,样地边缘设置5 m缓冲区。先用Excel进行一元分布频率统计;再用Excel 2010数据透视表分别统计每2个空间结构参数不同取值组合( $X_i, Y_j$ )(其中 $i, j = 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1$ )的相对频率值并用Sigmaplot 12.5绘制 $X - Y$ 的二元分布图;计算 $FSSI$ 、

FSSD,并绘制其3D散点图及其投影面。

### 3 结果与分析

#### 3.1 小陇山典型天然林一元分布

由计算结果可知(见表1),油松天然林中,以随机分布林木为主,达58.4%,其次是不均匀和均匀分布的林木较多,林分平均值为 $0.511 \in [0.475, 0.517]$ ,属随机分布;林分中胸径大小比数频度分布为均衡分布,即各优劣等级的林木比例都接近20%,平均值为0.507,即林分生长整体上处于中庸状态;林分中零度混交和低度混交的林木比例分别

为29.2%、26.2%,即55.4%林木周围相邻木为同一树种或有1株不同种伴生,强度和极强度混交所占比例较低,仅为28.2%,平均混交度为0.397,空间隔离程度较低。锐齿栎天然林中,随机分布林木比例为56.7%,其次是均匀分布和不均匀分布的林木较多,分别为20.9%、15.8%;胸径大小比数频度分布也比较均匀,均接近20%,林木整体具有较强的竞争势;强度和极强度混交林木比例较高,总计为79.5%,平均混交度为0.797,即林分中的大多数林木与其它树种伴生。这些研究结果与前人的基本一致<sup>[4,6]</sup>。

表1 小陇山2种典型天然林空间结构参数频率分布

林型	结构参数	0	0.25	0.5	0.75	1	均值
油松林	角尺度 $W$	0.007	0.196	0.584	0.172	0.042	0.511
	大小比数 $U$	0.210	0.172	0.190	0.236	0.192	0.507
	混交度 $M$	0.292	0.262	0.164	0.128	0.154	0.397
锐齿栎林	角尺度 $W$	0.008	0.209	0.567	0.158	0.054	0.508
	大小比数 $U$	0.215	0.184	0.236	0.179	0.187	0.485
	混交度 $M$	0.024	0.071	0.111	0.282	0.513	0.797

#### 3.2 小陇山油松天然林二元分布

在油松天然林  $U-M$ 、 $W-M$  和  $W-U$  二元分布图中(见图1),由图1A可知,在同一混交等级下,频率值随着大小比数的增大( $U_i = 0 \rightarrow 1$ )无明显变化,即相同混交程度的林木处于不同优劣程度的株数相近;在同一优劣等级上,随着混交度等级的增大( $M_i = 0 \rightarrow 1$ )频率值略微增大再急降后趋于平缓,即相同优劣程度的林木周围为同一树种或有另一树种伴生的比例较大,而处于混交良好的个体较少。由图1B可知,随着角尺度等级的增大( $W_i = 0.00 \rightarrow 1.00$ ),同一混交等级对应的频率值先增大后减小,近似呈正态分布,且在随机分布( $W_i = 0.50$ )时取得最大值,即林分中相同混交状况的林木大多随机分布;在同一分布格局下(除  $W_i = 0.75$ ),随着混交度等级的

增大频率值逐渐减少,总体来说,同一分布格局下林木处于零度混交和弱度混交的比例较大,混交较差; $W_i = 0.5$  且  $M_i = 0$  或  $0.25$  林木占整个林分株数的35%,也就是说,林分中最常见的结构单元是参照树为随机分布的同一树种或伴生有另一树种。图1C大致以中庸轴( $U_i = 0.50$ )和随机分布轴( $W_i = 0.50$ )为中心呈两侧基本对称,即随着角尺度等级的增大( $W_i = 0.00 \rightarrow 1.00$ ),同一大小比数对应的频率值均呈现先增大后下降的趋势,且在角尺度为0.50时取得最大值,即林分中相同优劣程度的林木大多处于随机分布;同一分布格局对应的频率值随着大小比数等级的增大基本无变化,即相同分布格局林木等比例的处于不同优劣程度。

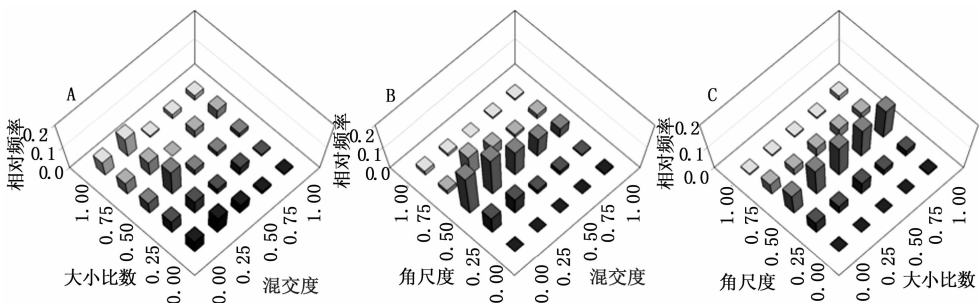


图1 小陇山油松天然林空间结构参数二元分布图

### 3.3 小陇山锐齿栎天然林二元分布

在锐齿栎天然林  $U-M$ 、 $W-M$  和  $W-U$  二元分布图中(见图2),由图2A可知,随着混交度等级的增大( $M_i=0.00 \rightarrow 1.00$ ),同一优劣程度林木对应的频率值逐渐增大,并且处于强度混交和极强度混交的林木比例约为15%,即同一优劣程度的林木周围大多伴生有其他树种,混交良好;同一混交程度下处于不同优劣程度的林木比例大致相等。由图2B可知,随着角尺度等级从0增大到1,同一混交度对应的频率值先增大后减小,并在角尺度为0.5时取得最大值,也就是说,相同混交等级的林木大多处于随机分布,处于其他分布格局的林木较少;相同分布格

局对应的频率值随着混交度等级的增大而逐渐增大,在  $M_i=1$  且  $W_i=0.5$  时取得最大相对频率值,为0.277,远远大于其他组合对应的频率值,即锐齿栎天然林中最常见的结构单元为参照树周围林木为随机分布的不同树种。由图2C可知,随着  $W_i=0.00 \rightarrow 1.00$ ,同一优劣程度的林木株数先增大后减小,并在角尺度为0.50时取得最大值,同一优劣程度下,约占林分整体10%的林木处于随机分布;同一分布格局的林木株数随着大小比数等级的增大( $W_i=0.00 \rightarrow 1.00$ )无明显变化,即相同分布格局林木在不同优劣程度的株数比例大致相等。

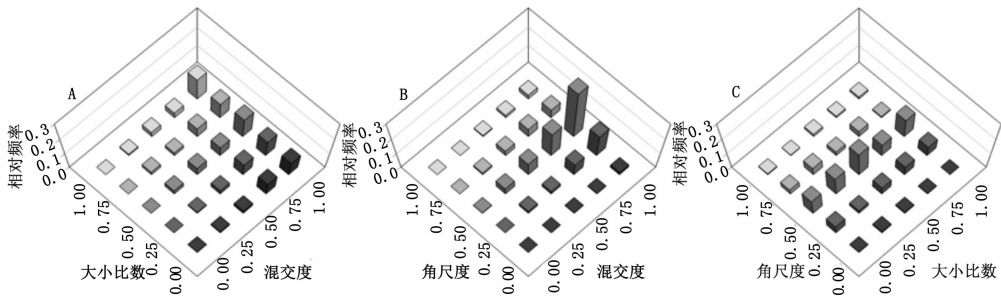
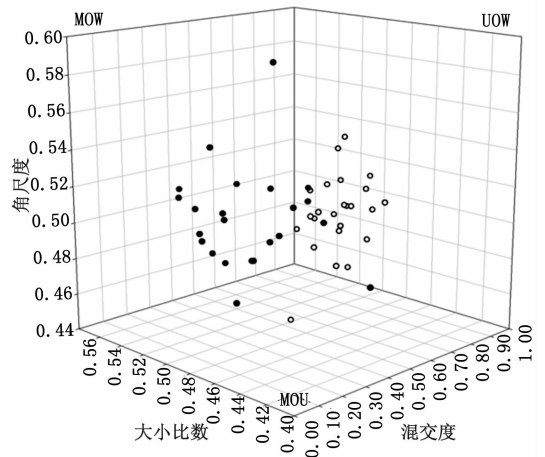


图2 小陇山锐齿栎天然林空间结构参数二元分布图

### 3.4 小陇山典型天然林空间结构指数和距离

由表1和图3可知,小陇山林区锐齿栎天然林  $FSSI$  为0.739,其空间结构明显优于油松天然林( $FSSI=0.576$ ),主要是因为2个林分生长整体均处于中庸状态、分布格局均为随机分布,而锐齿栎天然林的混交度( $M=0.797$ )明显高于油松天然林( $M=0.397$ ),从而大幅度的趋向于理想空间结构( $M=1$ 、 $U=0$ 、 $W=0.5$ ), $FSSD$ 显著缩小,仅为0.526,油松天然林空间隔离程度较低,呈现为远离理想空间结构的趋势,因而  $FSSD$  高达0.788。进一步对各样地  $FSSI$  和  $FSSD$  进行拟合发现,二者具有极显著的线性关系, $FSSD = -1.4815 \times FSSI + 1.6257$ ,  $R^2 = 0.9906$  ( $P < 0.01$ ),说明二者在表述林分空间结构方面具有较强的一致性。

为更直观地反映林分各样地的分布状况,绘制3D散点图投影面  $MOU$ 、 $UOW$  和  $MOW$ (见图4),从图4A可知,油松林中约3/4样地趋于中庸和弱度混交点( $U_i=0.5$ ,  $M_i=0.25$ )附近;锐齿栎林绝大多数样地分布于中庸轴( $U_i=0.5$ )两侧且介于中度混交轴( $M_i=0.5$ )和极强度混交轴( $M_i=1$ )之间。由图4B可知,油松、锐齿栎各样地大多接近中庸且随机



注:●和○分别为油松、锐齿栎天然林3D散点。下同。

图3 小陇山2种典型天然林空间结构参数3D散点图

分布点( $U_i=0.5$ ,  $W_i=0.5$ ),在中庸轴两侧,锐齿栎样地分布左侧大于右侧,油松林正好相反,即锐齿栎林竞争势略强。从图4C可知,油松林样地大多分布于随机分布轴( $W_i=0.5$ )两侧且介于零度混交轴( $M_i=0.25$ )和中度混交轴( $M_i=0.5$ )之间,锐齿栎林样地大多分布于于强度混交和随机分布点( $M_i=0.75$ ,  $W_i=0.5$ )四周。综合以上分析可知,二者的分

布格局和优劣程度相近,主要差异是锐齿栎天然林的空间隔离程度远远大于油松天然林,这与表1的

分析结果较一致。

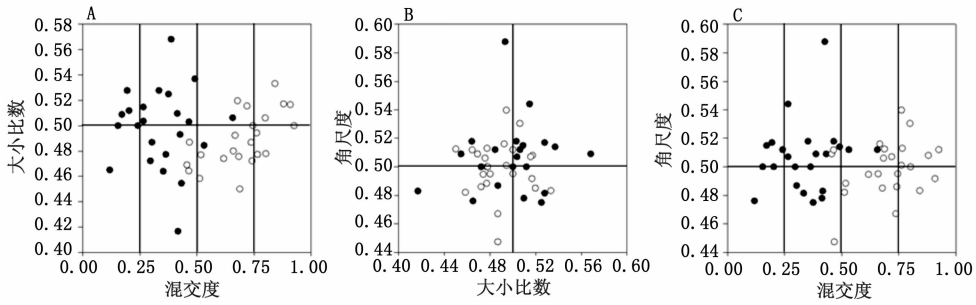


图4 小陇山2种典型天然林空间结构参数3D散点图投影面

## 4 结论与讨论

样方的大小和数量达到合适的量时才能较真实的反映林分的空间结构特征,在样方面积为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 、 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ 、 $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ 时,最小调查样方数分别为12、1、1<sup>[22]</sup>。本研究采用样方大小(数量)分别为油松天然林 $20\text{ m} \times 30\text{ m}$ (23)、锐齿栎天然林 $28\text{ m} \times 28\text{ m}$ (24),可以准确判定二者的分布格局均为随机分布,这与刘文桢等<sup>[6]</sup>采用 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$ (1)、赵中华等<sup>[4]</sup>和马映栋等<sup>[23]</sup>采用 $60\text{ m} \times 60\text{ m}$ (1)判定林木分布格局的研究结果一致。但也有研究表明油松天然林为聚集分布<sup>[15,24]</sup>,与本文研究结果有较大差异。这主要是因为他们分别设置 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ (11)、 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ (7)样方,样方数量小于12,对应的判断林分空间格局的准确性较低,其次,不同发育阶段种群分布格局随时间表现出动态变化过程,随着年龄的增加,种群逐渐呈现聚集分布 $\rightarrow$ 均匀分布 $\rightarrow$ 随机分布趋势<sup>[25-26]</sup>,而他们所研究的对象以幼、中龄林为主,处于群落发展的初始阶段,可能使得种群结构表现出强烈的聚集性。因此,实际调查研究中,必须根据具体的立地条件、工作量、调查成本等,确定较为合理、可行的样方面积和数量分析林木分布格局。

自然条件下,种群的结构和空间分布往往是种群生物学特性、种内种间关系以及环境条件长期相互适应、相互作用的结果<sup>[23,27]</sup>。油松天然林经过长期的自然演替,乡土树种油松、华山松相对多度和相对显著度占绝对优势,占据林分的上层空间,光照、水热、养分和生存空间等资源充足,限制了喜光树种的更新和发育,使得大多数其余阔叶树种成为下层木<sup>[6]</sup>,而同种个体对资源环境利用的一致性和不同种个体对有限资源的相互竞争,必然导致种间和种

内竞争激烈,一些林木大小分化严重,甚至死亡,使最近邻林木个体为其它树种所取代,林木分布趋于随机,同种或不同种个体之间逐渐占据各自的生态位,形成不同优劣程度的林木。百年未经干扰的锐齿栎天然林发育过程中,群落内相同树种个体争夺共同的环境资源和空间,导致发生自疏现象,被淘汰的林木个体的位置逐步被其它树种逐步占据并取代,最终使得大多数林木不与本种相伴。其次,林内多倒木和枯立木,自然更新良好,群落中这些树种在各个径级均有分布<sup>[3-4]</sup>,乔木层垂直结构分化明显,这可能是不同优劣程度的株数比例大致相等的主要原因。种群与环境、种群与种群长期相互作用、协同进化,不同林木个体之间占据相对稳定的位置,最终形成随机分布的典型天然林群落分布格局。

二元分布充分利用结构参数表达结构上的频率优势,为进一步揭示林分空间结构内在规律提供了有效途径,提供的大量且操作性强的异质性信息<sup>[7]</sup>,有利于林分结构调整优化。例如,油松天然林中劣势和绝对劣势的林木占较大比例(表1),无法进一步知道劣势和绝对劣势林木的混交状况如何,而大小比数-混交度二元分布(图1A)直观地给出劣势、绝对劣势林木中零度混交和弱度混交的林木分别占整个林分株数的12%、14%,其余混交等级的林木仅占4%、7%,在采伐木筛选的过程中,6%处于绝对劣势且零度混交的林木将作为首选采伐木,8%处于绝对劣势且弱度混交和6%处于劣势且零度混交的林木作为次选采伐木,6%处于劣势且弱度混交的林木作为备选采伐木,可少量多次的进行采伐,从而有针对性的缩小现实林分结构与理想结构的差距,也便于控制采伐强度,从而为森林群落空间结构精准分析和优化经营提供新途径,这些独特的优势在之前的林分空间结构分析和优化研究中鲜有

报道<sup>[2,6,28-29]</sup>。

油松天然林样地混交较差且属中庸状态或随机分布、锐齿栎天然林样地大多混交良好且属中庸状态或随机分布;二者大多样地均属中庸且随机分布(图3、图4)。其中3D散点图投影面 $UOW$ 、 $MOW$ 、 $MOU$ 分别对应于林木水平的 $U-M$ 、 $W-M$ 和 $W-U$ 二元分布,可以看作是样地水平的二元分布,可清晰、直观的反映各样地的空间分布状态和数量特征, $FSSI$ 和 $FSSD$ 则量化了现实林分结构与理想结构点( $M=1, U=0, W=0.5$ )的差距大小,二者更适合于立地条件复杂,呈斑块状镶嵌分布,没有大面积连片分布的不同林分类型空间结构比较和优化研究,即先通过 $FSSI$ 和 $FSSD$ 从整体上判断不同林分类型的优劣,再通过3D散点投影面 $UOW$ 、 $MOW$ 、 $MOU$ 比较不同林分类型各样地的分布状态和数量状态的差异。此外,可进一步通过具体样地一元分布和二元分布特征调整林分结构,最终达到多树种混交的稳定结构。比如,依据各样地3D散点图投影面 $UOM$ 筛选出林木生长处于劣势且混交较差的样地,通过这些样地的林木调整来快速有效地优化这一林分类型空间结构,且样地布设灵活,省时省力,适应性和可操作性强,这就为不同林分类型的结构比较和优化经营提供了可行途径,也是对前人林分结构分析和优化方法的重要完善和提升<sup>[7,10-11]</sup>。这也标志着林分空间结构的研究跨入“面”、“体”新阶段,即结构参数的二元分布和三维可视化研究将是现在和未来研究的又一个重要方向<sup>[28]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 安慧君. 阔叶红松林空间结构研究[D]. 北京:北京林业大学,2003.
- [2] 岳永杰,余新晓,李钢铁. 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.
- [3] 赵中华,惠刚盈,袁士云,等. 小陇山锐齿栎天然林的树种多样性和结构特征[J]. 林业科学研究,2008,21(5):605-610.
- [4] 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.
- [5] 袁士云,张宋智,刘文桢,等. 小陇山辽东栎次生林的结构特征和物种多样性[J]. 林业科学,2010,46(5):27-34.
- [6] 刘文桢,赵中华,惠刚盈,等. 小陇山油松天然林结构特征[J]. 林业科学研究,2011,24(4):437-442.
- [7] 李远发. 林分空间结构参数二元分布的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2013.
- [8] 董灵波,刘兆刚,马妍,等. 天然林林分空间结构综合指数的研究[J]. 北京林业大学学报,2013,35(1):16-22.
- [9] Wang M L, Rennolls K, Tang S Z. Bivariate distribution modeling of

tree diameters and heights: Dependency modeling using copulas[J]. Forest Science,2008,54(3):284-293.

- [10] Li Y F, Hui G Y, Zhao Z H, et al. The bivariate distribution characteristics of spatial structure in natural Korean pine broad-leaved forest[J]. Journal of Vegetation Science, 2012, 23(6):1180-1190.
- [11] Li Y F, Hui G Y, Zhao Z H, et al. Spatial structural characteristics of three hardwood species in Korean pine broad-leaved forest-validating the bivariate distribution of structural parameters from the point of tree population[J]. Forest Ecology and Management,2014,314:17-25.
- [12] 柴宗政,王得祥,张丽楠,等. 秦岭山地天然林油松群落主要植物种群生态位特征[J]. 生态学杂志,2012,31(8):1917-1923.
- [13] 蔺雨阳,王得祥,雷瑞德,等. 秦岭西段天然油松种群的数量特征研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):180-185.
- [14] 巨天珍,郝青,葛建团,等. 甘肃小陇山锐齿栎林空间分布格局分析[J]. 林业资源管理,2010(4):17-30.
- [15] 巨天珍,宋晓伟,师贺雄,等. 小陇山国家级自然保护区油松林优势种群空间分布格局分析[J]. 干旱区资源与环境,2012,26(9):62-66.
- [16] 巨天珍,米彩燕,贺师雄,等. 小陇山国家级自然保护区油松种群更新及生存[J]. 山地学报,2012,30(1):36-40.
- [17] 巨天珍,张彦文,葛建团,等. 小陇山国家级自然保护区油松群落生态位研究[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(4):171-175.
- [18] 胡元洁,巨天珍,米彩燕,等. 小陇山国家级自然保护区华山松种群更新动态分析[J]. 广西植物,2013,33(2):247-252.
- [19] 惠刚盈,赵中华,胡艳波. 结构化森林经营技术指南[M]. 北京:中国林业出版社,2010. 107-113,126-128,140-143,147-150.
- [20] 郝云庆,王金锡,王启和,等. 柳杉人工林林分不同变量大小比数研究[J]. 应用生态学报,2006,17(4):751-754.
- [21] 张家城,陈力,郭泉水,等. 演替顶级阶段森林群落优势树种分布的变动趋势研究[J]. 植物生态学报,1999,23(3):256-268.
- [22] 周红敏,惠刚盈,赵中华,等. 森林结构调查中最适样方面积和数量的研究[J]. 林业科学研究,2009,22(4):482-495.
- [23] 马映栋,刘文桢,赵中华,等. 小陇山锐齿栎林种群空间格局及关联性变化分析[J]. 西北植物学报,2014,34(9):1878-1886.
- [24] 王蒙. 甘肃小陇山主要植物种群动态与空间分布格局研究[D]. 兰州:西北师范大学,2012.
- [25] 郭垚鑫,胡有宁,李刚,等. 太白山红桦种群不同发育阶段的空间格局与关联性[J]. 林业科学,2014,50(1):9-14.
- [26] 张健,郝占庆,宋波,等. 长白山阔叶红松林中红松与紫椴的空间分布格局及其关联性[J]. 应用生态学报,2007,18(8):1681-1687.
- [27] Condit R, Ashton P S, Baker P, et al. Spatial patterns in the distribution of tropical species[J]. Science,2000,288(5470):1414-1418.
- [28] 惠刚盈. 基于相邻木关系的林分空间结构参数应用研究[J]. 北京林业大学学报,2013,35(4):1-8.
- [29] 胡艳波. 基于结构化森林经营的天然异龄林空间优化经营模型研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010.