

# 荒漠内陆河岸胡杨和多枝桤柳幼苗种群空间分布格局及种间关联性\*

赵峰侠<sup>1,2</sup> 尹林克<sup>1\*\*</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; <sup>2</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要** 运用方差均值比率法、负二项参数、丛生指标、平均拥挤度、聚块性指数和扩散系数等 7 个指标以及双项轨迹方差法, 研究了塔里木河中下游荒漠河岸植被建群种胡杨 (*Populus euphratica*) 和多枝桤柳 (*Tamarix ramosissima*) 幼苗种群的空间分布格局和种间关联性。结果表明, 胡杨和多枝桤柳幼苗的空间分布呈显著的聚集分布, 聚集规模大小为 16 m<sup>2</sup>。利用 2 × 2 列联表  $\chi^2$  统计量、联结系数和共同出现百分率等测度方法, 综合分析了 2 个种对联结性质和程度。结果表明, 胡杨和多枝桤柳 2 个幼苗种群表现出强的正关联, 这 2 种植物种群现处于稳定分布格局, 种间共存, 占有共同的生态位。

**关键词** 胡杨; 多枝桤柳; 空间分布格局; 种间关联

中图分类号 Q948.1 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2007)07-0972-06

**Spatial distribution pattern and interspecific association of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* seedlings populations along desert inland river.** ZHAO Feng-xia<sup>1,2</sup>, YIN Lin-ke<sup>1</sup> (<sup>1</sup> Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; <sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Chinese Journal of Ecology* 2007 26(7) 972-977.

**Abstract:** In this paper, the methods such as  $V/m$  ratio  $t$ -test, negative binomial parameter, clump index, mean crowding intensity, index of patchiness, dispersion coefficient, and two-term local variance (TTLV) were used to analyze the spatial distribution pattern and interspecific association of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* seedlings populations in the middle and lower reaches of the Tarim River. The results showed that the spatial distribution pattern of the two populations all presented significantly aggregative at a block size of 16 m<sup>2</sup>. Based on 2 × 2 contingency table, the interspecific associations of the two species were examined by means of  $\chi^2$ -test, together with the association coefficient and percentage co-occurrence. The results indicated that the two species showed significantly positive association. It was suggested that the two populations in the study area were in stable distribution pattern, and the two species coexisted and held the common ecological niche.

**Key words:** *Populus euphratica*; *Tamarix ramosissima*; spatial distribution pattern; interspecific association.

## 1 引言

种群空间格局分析是研究种群特征、种群间相互作用以及种群与环境关系的重要方法, 也是生态学研究热点之一(张金屯, 1998)。空间分布格局是指种群个体在水平空间的配置状况或分布状况,

反映了种群个体在水平空间上彼此间的相互关系, 是由种群本身生物学特性、种间关系和环境条件的综合影响所决定的(郭忠玲等, 2004)。研究种群的结构与动态, 对阐明群落的形成与维持、群落的稳定性与演替规律、种群的生态特征和更新具有重要意义(王巍等, 1999)。

种间关联或称物种联结性是指不同物种在空间上的相互联结性, 是群落形成、演化的基础(郭志华等, 1997; 黄世能等, 2000)。对植物种间关联进行研

\* 中国科学院知识创新工程重大资助项目(KZCX2-XB2-03-1)。

\*\* 通讯作者 E-mail: Yinlk@ms.xjb.ac.cn

收稿日期: 2006-07-11 接受日期: 2007-04-10

究,有助于解决群落抽样问题,预测种群消长的动态,可为揭示群落演替中植物替代关系的机制提供理论依据(刘萍萍和程积民,2000)。

胡杨(*Populus euphratica*)和多枝桧柳(*Tamarix ramosissima*)是中国内陆荒漠河岸植被中的重要建群种和表征种,它们构成了塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落中的乔木层片和灌木层片,成为内陆河生态系统结构中的主体,发挥着重要的生态功能。在季节性洪水的作用下,胡杨和多枝桧柳以种子散播方式,沿塔里木河流两岸发生大量幼苗,形成新的种群。通过种间竞争、演替以及其它植物种的入侵替代,发育成稳定的群落。关于这一地区植物群落的空间分布格局,已有文献报道(刘加珍等,2004;张元明等,2004)。但对于新发生的幼苗种群的空间分布格局研究还未见报道。

本文通过对胡杨和多枝桧柳幼苗种群空间分布格局及特点的研究,旨在揭示荒漠内陆河地区自然植被发生过程中的种群结构特征和种间关系,为荒漠河岸的植被保育、恢复与重建提供理论依据。

## 2 研究区与研究方法

### 2.1 自然概况

研究区位于新疆塔里木盆地北部塔里木河下游阿拉干处河床边缘稍高的台地上,地理位置 $88^{\circ}21'E$   $40^{\circ}08'N$ ,属暖温带大陆荒漠气候。气候极端干旱,年降水 $20\sim 40\text{ mm}$ ,蒸发量 $2965\text{ mm}$ 。光照丰富,年日照时数为 $3\ 000\text{ h}$ 。年平均温度高于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。最低气温 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最高气温 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。土壤分布呈条带状分布,自河岸向外依次为河漫滩草甸土、草甸化胡杨土、红柳林土、盐化草甸土、荒漠化草甸土和平沙地、流动或半流动沙地等。研究区由于长期断流,河床干涸裸露,形成一片空旷地。2000年后,开始向塔里木河下游分次输水,该研究样地可以得到河水的漫溢,如果输水时间与胡杨和多枝桧柳的落种期吻合,就会诱使种子的萌发,形成大片同龄的胡杨和多枝桧柳幼苗混交区。因此,样方内胡杨和多枝桧柳都为2年生幼苗。

### 2.2 研究方法

**2.2.1 样地、样方及数据采集** 2005年8月,在新疆塔里木河下游阿拉干河床上设置 $16\text{ m}\times 48\text{ m}$ 的典型样地1个,采用相邻格子法将样地划分成 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 样方,共192个。

在样方内分别测定胡杨和多枝桧柳的株数、冠

幅、株高以及每株幼苗在样方中的平面坐标。

**2.2.2 数据处理** ①数据统计的空间尺度确定种群的分布类型与空间尺度有重要的关系(Greig-Smith,1983),一个种在小尺度下可能呈现集群分布,而在大尺度下有可能呈随机分布或均匀分布(张金屯,1995)。因此,为了使实际测量的尺度大小不影响估计结果的准确性,按4、8、16、32、64、128和 $256\text{ m}^2$ 等7个不同尺度进行统计计算,确定胡杨和多枝桧柳种群的天然空间格局类型。

#### ②种群分布格局测定方法

(1)方差均值比率法(Blackman,1942)

此方法是建立在Poisson分布的预期假设上的。一个Poisson分布的总体有方差 $V$ 和均值 $m$ 相等的性质,即 $V/m=1$ 。如果 $V/m>1$ ,则偏离Poisson分布,呈集群(clump)分布;反之, $V/m<1$ ,则呈均匀(regular or uniform)分布。

$V$ 和 $m$ 的计算公式如下:

$$V = \left( \sum_{i=1}^N X_i^2 - \left( \sum_{i=1}^N X_i \right)^2 / N \right) / (N - 1)$$

$$m = \sum_{i=1}^N X_i / N \quad (1)$$

式中 $N$ 为样方数, $X$ 为每样方中的个体数。

方差均值比的显著性用 $t$ 检验法。 $T$ 值的计算公式如下:

$$T = (V/m - 1) / \sqrt{2/(N - 1)} \quad (2)$$

然后通过查 $N-1$ 自由度和95%置信度 $t$ 分布表,进行显著性检验。

#### (2)负二项参数 $k$

每单位的生物数有负二项分布时,可以用分布的参数 $K$ 值作为聚集的度量。 $K$ 值计算公式为:

$$K = m^2 / (V - m) \quad (3)$$

式中 $m$ 为样本均值, $V$ 为样本方差。

$K$ 值愈小,聚集度越大,如果 $K$ 值趋于无穷大(一般为8以上)则逼近随机分布。

#### (3)丛生指标 $I_1$ (David,1954)

计算公式如下:

$$I_1 = V/m - 1 \quad (4)$$

式中, $V$ 为样本方差, $m$ 为样本均值。

当 $I_1>0$ 时,为聚集分布; $I_1=0$ 时,为随机分布; $I_1<0$ 时,为均匀分布。

#### (4)平均拥挤度 $m^*$ (Lloyd,1967)

计算公式如下

$$m^* = m + (V/m - 1) \quad (5)$$

式中,  $V$  为样本方差,  $m$  为样本均值。

当  $m^* > 1$  时, 为聚集分布;  $m^* = 1$  时, 为随机分布;  $m^* < 1$  时, 为均匀分布。

(5) 聚块性指数  $m^*/m$  (Greig-Smith, 1979)

当  $m^*/m > 1$  时, 为聚集分布;  $m^*/m = 1$  时, 为随机分布;  $m^*/m < 1$  时, 为均匀分布。

(6) 扩散系数  $C$  (Clark & Evans, 1967; Greig-Smith, 1979)

$$C = V/m \quad (6)$$

式中,  $V$  为样本方差,  $m$  为样本均值。

当  $C > 1$  时, 为聚集分布;  $C = 1$  时, 为随机分布;  $C < 1$  时, 为均匀分布。

### ③ 种间关联度的计算

基于  $2 \times 2$  列联表(表1), 计算各种对的  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  值, 分别采用  $\chi^2$  统计量值的  $X^2$  检验、联结系数  $AC$  和共同出现百分率  $PC$  等测度方法, 综合分析种对联结性质和程度(郭志华等, 1997; 孙学刚等, 1998)。

表1  $2 \times 2$  列联表

Tab.1  $2 \times 2$  contingency table

		种 B		
		+	-	
种 A	+	$a$	$b$	$a + b$
	-	$c$	$d$	$c + d$
		$a + c$	$b + d$	$a + b + c + d$

+ 代表出现的样方数, - 代表不出现的样方数。

对于非连续性数据  $X^2$  用 Yates 的连续校正公式计算, 计算公式如下:

$$X^2 = \frac{n[|ad - bc| - n/2]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \quad (7)$$

式(7)中  $n$  为小样方总数。

得到  $X^2$  后, 从  $X^2$  表1查不同水准下的  $X^2$  理论值。根据自由度为1时的  $X^2(0.05)$ 、 $X^2(0.01)$  理论值分别比较  $X^2$  统计量: 当  $X^2 < 3.841$  时, 种间联结独立; 当  $3.841 \leq X^2 < 6.635$  时, 种间有一定的生态

联结; 当  $X^2 \geq 6.635$  种间有显著的生态联结。  $X^2$  本身没有负值。判定正、负联结的方法是当  $ad > bc$ , 种间具正关联; 若  $ad < bc$ , 种间具负关联 (Janson & Vegelius, 1981)。

为进一步测定种间关联强度, 采用种间联结系数  $AC$ ,  $AC$  的值域  $[-1, 1]$ 。种对的正关联性越强,  $AC$  值越趋近1; 种对负关联性越强,  $AC$  值越趋近-1;  $AC$  值为0, 种间完全独立(王伯荪和彭少麟, 1989; 李建民等, 2001)。其计算公式为:

$$AC = (ad - bc) / (a + b)(b + d) \quad (ad > bc)$$

$$AC = (ad - bc) / (a + b)(a + c) \quad (ad < bc) d \geq a \quad (8)$$

$$AC = (ad - bc) / (d + b)(d + c) \quad (ad < bc) d < a$$

共同出现的百分率  $PC$  仅表明种对的正联结程度, 计算公式为:

$$PC = a / (a + b + c) \quad (9)$$

$PC$  的值域为  $[0, 1]$ 。  $PC$  值越趋近于1, 表示种对的正联结越强。

### ④ 格局的规模分析方法

利用双项轨迹方差法(two-term local variance, TTLV) (Hill, 1973), 计算区组均方。在聚集分布情况下, 均方将在某一区组突出, 以均方为纵坐标, 以区组为横坐标绘出“区组大小-均方”曲线图, 有峰值出现的区组则指示了聚块的大小, 具体计算方法见文献(张金屯, 1995)。

## 3 结果与分析

### 3.1 种群空间分布格局

种群分布格局和集群强度分析表明, 胡杨和多枝柽柳2个种群空间分布格局都呈很强的聚集型分布(表2、表3)。

负二项参数  $K$ 、聚块性指数  $m^*/m$  都是无量纲的指标, 它们只考虑了空间格局本身的性质, 不受种群密度的影响(王巍等, 1999), 能作为衡量集群程

表2 不同尺度下胡杨种群空间分布格局的聚集强度指数

Tab.2 Cluster-intensity coefficient of spatial pattern of *P. euphratica* populations at different measurement scales

样方面积 ( $m^2$ )	方差 $v$	平均值 $m$	$v/m$	$t$ 检验	分布类型	负二项参数 $k$	平均拥挤度 $m^*$	聚块性指数 $m^*/m$	扩散系数 $C$	丛生指标 $I_t$
4	232.40	11.55	20.13	186.91**	聚集分布	0.60	30.67	2.67	20.13	19.13
8	682.46	23.09	29.55	196.78**	聚集分布	0.81	51.65	2.24	29.55	28.55
16	2470.07	46.19	53.48	254.40**	聚集分布	0.88	98.67	2.14	53.48	52.48
32	8892.68	92.38	96.27	323.07**	聚集分布	0.97	187.64	2.03	96.27	95.27
64	14315.48	184.75	77.49	179.37**	聚集分布	2.42	261.24	1.41	77.49	76.49
128	41204.30	369.50	111.51	174.74**	聚集分布	3.34	480.01	1.30	111.51	110.51
256	66531.00	739.00	90.03	89.03**	聚集分布	8.30	828.03	1.12	90.03	89.03

\* 显著性水平为0.05, \*\* 显著性水平为0.01。

表3 不同尺度下多枝桤柳种群空间分布格局的聚集强度指数

Tab.3 Cluster-intensity coefficient of spatial pattern of *T. ramosissima* populations at different measurement scales

样方面积 (m <sup>2</sup> )	方差 <i>v</i>	平均值 <i>m</i>	<i>v/m</i>	<i>t</i> 检验	分布类型	负二项参数 <i>k</i>	平均拥挤度 <i>m</i> *	聚块性指数 <i>m</i> */ <i>m</i>	扩散系数 <i>C</i>	丛生指标 <i>I<sub>t</sub></i>
4	146.97	8.68	16.93	159.30**	聚集分布	0.54	24.61	2.84	16.93	15.93
8	446.37	17.27	25.85	171.23**	聚集分布	0.70	42.12	2.44	25.85	24.85
16	1578.42	34.54	45.70	216.67**	聚集分布	0.77	79.24	2.29	45.70	44.70
32	5789.65	69.08	83.81	280.81**	聚集分布	0.83	151.89	2.20	83.81	82.81
64	20913.79	138.17	151.37	352.64**	聚集分布	0.92	288.53	2.09	151.37	150.37
128	75854.67	276.33	274.50	432.45**	聚集分布	1.01	549.84	1.99	274.50	273.50
256	105317.3	552.67	190.56	189.56**	聚集分布	2.92	742.23	1.34	190.56	189.56

\* 显著性水平为 0.05, \*\* 显著性水平为 0.01。

度的指标,表征种群对空间侵占、扩展程度(张继义和赵哈林 2004)。从负二项参数( $K$ )、聚块性指数( $m^*/m$ )来看,多枝桤柳聚集强度高于胡杨的聚集强度,表明多枝桤柳对空间的侵占程度较高。平均拥挤度( $m^*$ )、丛生指标  $I_t$  受到种群密度的影响,它们不但表征种群在空间分布即样方之间的差异,还表征单位样方内种群的数量和密集程度(张继义和赵哈林 2004)。从平均拥挤度( $m^*$ )、丛生指标  $I_t$  来看,胡杨单位样方内种群的数量和密集程度大于多枝桤柳,表明胡杨种群对生态空间的填充程度能力强。在聚集强度的指标中,发现  $K$ 、 $m^*/m$  将随着尺度的增大而下降,当样方大小为 256 m<sup>2</sup> 时,胡杨  $k = 8.44$ ,  $m^*/m = 1.12$ ; 多枝桤柳  $m^*/m = 1.34$ , 趋向随机分布趋势。其它聚集指标:方差均值、平均拥挤度、扩散系数和丛生指数测量结果均不受样方大小的影响。

### 3.2 种间关联性

基于  $2 \times 2$  列联表  $\chi^2$  统计量检测胡杨和多枝桤柳物种间的联结性。当样方大小为 4 m<sup>2</sup>, 利用公式(7)得出  $X^2 = 12.28 > 6.635$ 。因此判断 2 个物种间有显著的生态联结,利用式(8)得出  $ad = 1644$ ,  $bc = 306$ , 则  $ad > bc$ , 种间联结系数  $AC = 0.17$ , 表明 2 个种群间呈正关联性;利用式(9)计算共同出现的百分率  $PC = 0.76$ , 表明胡杨和多枝桤柳 2 个种群间的正联结程度很强。当样方大小  $> 4$  m<sup>2</sup>, 由于  $d$  出现 0 值,该方法不适用。

### 3.3 格局的聚集规模

将胡杨和多枝桤柳 2 个种群划分为 1、2、4、8、16、32 和 64 等 7 个区组,采用双项轨迹方差法,对 2 个种群空间分布格局进行分析。由胡杨和多枝桤柳种群的“区组大小-均方曲线”可以看出(图 1),胡杨和多枝桤柳种群都在区组 4 出现峰值,区组 4 所对应的样方面积为 16 m<sup>2</sup>, 因此胡杨和多枝桤柳 2 个

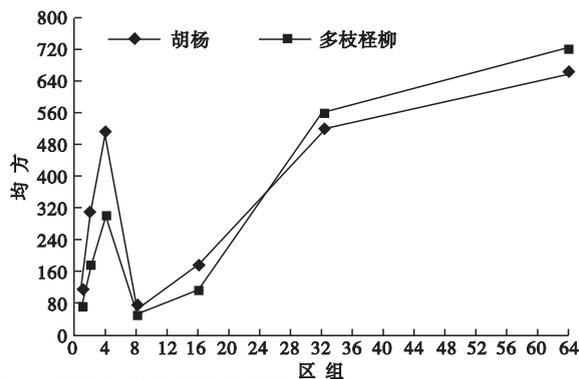


图1 胡杨和多枝桤柳种群格局

Fig.1 Distribution pattern analysis of *P. euphratica* and *T. ramosissima*

种群聚块大小为 16 m<sup>2</sup>, 表明呈小规模聚集。

## 4 讨论

种群分布格局是种群生态生物学特征的重要方面,是种群本身生物学特性、种间关系和环境条件的综合作用的结果(郭忠玲等 2004)。在环境均一、生存条件良好情况下,以母株为中心的繁殖方式可使低龄子代呈现聚集分布,随着年龄的增加,树木对光因子和营养条件等环境资源的要求加大及自疏、它疏等作用,种群会趋于均匀分布,随着年龄继续增加,种群将趋于随机分布(郑元润,1998)。迄今为止,乔木种群的分布格局研究中有关异龄种群的研究很多(王伯荪和彭少麟,1989;王得祥等,1998;李先琨等 2000;苏志尧等 2000;吴大荣等 2000;李建民等,2001;张文辉等,2002;操国兴等,2003;胡小兵和于明坚,2003;郭华等,2005)。研究表明,幼苗种群大多数呈聚集分布。胡杨和多枝桤柳种群在幼树阶段表现为集群分布,与前人的研究结果相一致。集群分布的原因有许多种,由于植物的繁殖和扩散的空间范围受到限制,种子往往散落在母体周围,种群的扩展总是以最初侵入并定居的母体为中心而展开,必然形成以母体为中心的聚集分布(Silvertown,

1987)。胡杨和多枝桤柳种群的幼树出现集群分布与种子传播方式、发生以及周围的环境密切相关。胡杨和多枝桤柳的种子小、数量多,以风传播为主,成熟的种子都散布在距离种源不远的河漫滩上。在洪水和地下水自然条件的补给下,形成湿润的河漫滩,能够使大量胡杨和多枝桤柳的种子在同一时期着床萌发与植株扎根,促进胡杨幼林生长(季方等,2001)。种子萌发和幼苗生长之后相当长的时期内如果环境变化不大,这种集群分布仍然延续。另外,胡杨和多枝桤柳实生苗是沿塔里木河流两岸具有一定宽度河漫滩发生,从裸露的河漫滩开始群落演替,植被恢复和群落建立的过程就是植物种群陆续侵入、定居和繁殖增长的过程,而这一过程的空间局限性和异质性也是引起两个种群聚集分布的重要原因。种群在幼年阶段较高的集群强度有利于群体效应的发挥,促进种群的存活和发展(蔡飞和宋永昌,1997),因此在胡杨和多枝桤柳种群发育的进程中,种群较高的聚集分布为该群落生态过程的稳定化奠定了基础。

集群分布的种群个体通常是聚集成大小不等的斑块镶嵌在一起或生境中,这种斑块的大小即格局的规模。一般认为小规模聚集是由植物本身的特征所决定的,例如通过根系的无性繁殖和种子的散布方式造成小规模聚集。大规模聚集主要是植物从原分布中心扩散,由环境因子的影响所决定的(郑元润,1998)。胡杨和多枝桤柳聚块大小为 $16\text{ m}^2$ ,呈小规模聚集,最主要的原因是受2个种群的发育年龄和植物本身的性质即种子的散布方式。两个种群都处于发育的幼龄时期,胡杨虽然在不同方向上种子的传播距离相差很大,但绝大多数种子都集中在母树的周围,种子雨散布在距离种源最近的地方,因此幼龄种群在未经种内的自疏和大规模的扩散时,仍保持小规模聚集。另一方面,为了在逆境下充分利用生境资源,胡杨常常表现出强的无性繁殖,无性繁殖所延伸的空间范围比种子散布的范围和距离更小,更有利于形成小尺度上的聚集分布。多枝桤柳虽然表现出比胡杨更强的扩散能力,但由于种子小而数量大,更容易形成格局规模较小的聚集分布。

前人对成熟林胡杨和多枝桤柳种间关系研究的结果表明,2个种群呈显著的负联结(尹林克和李涛,2005)。胡杨和多枝桤柳对生境(土壤水分和盐分)具相同需求。从物种竞争的角度来看,物种利

用同一资源,其竞争排斥作用越强烈(Diggle,1983;郑元润,1999),因此表现出负联结是合理的。本文用 $X^2$ 统计量值的 $\chi^2$ 检验、联结系数 $AC$ 、共同出现百分率 $PC$ 综合分析得出,胡杨和多枝桤柳2个幼苗种群间具强的正联结性。从种群的格局类型分析,胡杨和多枝桤柳2个种群都呈很强的聚集分布。种群的聚集分布可以促进种间共存(张大勇等,2000),其核心是聚集分布加剧了种内竞争的强度而减弱了种间竞争,造成种内竞争大于种间竞争(张继义和赵哈林,2004;李宗峰等,2005)。再从聚集强度指标分析,较高的聚集程度表明种群处在侵入扩散阶段(张继义和赵哈林,2004),负二项参数( $K$ )、聚块性指数( $m^*/m$ )显示,多枝桤柳的聚集强度高于胡杨的聚集强度,表明多枝桤柳对生态空间的侵占程度较高,利用生态空间的能力强。而从平均拥挤度( $m^*$ )、丛生指标 $I_i$ 来看,胡杨单位样方内种群的数量和密集程度大于多枝桤柳,表明胡杨种群对生态空间的填充程度能力强。因此共存的原因不是不同的物种利用不同的资源,而是不同的物种以不同的方式利用相同的资源。所以,胡杨和多枝桤柳在发育的幼苗阶段,在同一群落内形成种间正联结是完全有可能的。

## 5 结论

胡杨和多枝桤柳2个种群空间分布格局都呈很强的聚集型分布。2个物种间有显著的生态联结,种间联结系数 $AC=0.17$ ,共同出现的百分率 $PC=0.76$ ,表明,胡杨和多枝桤柳2个种群间的正联结程度较强。胡杨和多枝桤柳种群的聚块大小为 $16\text{ m}^2$ ,呈小规模聚集。研究表明,该种群现处于稳定分布格局,种间共存,占有共同的生态位。

## 参考文献

- 蔡飞,宋永昌. 1997. 武夷山木荷种群结构和动态的研究. 植物生态学报, 21(2): 138-148.
- 操国兴,钟章成,刘芸,等. 2003. 缙云山川鄂连蕊茶种群空间分布格局研究. 生物学杂志, 20(1): 10-12.
- 郭华,王孝安,肖娅萍. 2005. 秦岭太白红杉种群空间分布格局动态及分形特征研究. 应用生态学报, 16(2): 227-232.
- 郭志华,卓正大,陈洁,等. 1997. 庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群间联结性研究. 植物生态学报, 21(5): 424-432.
- 郭忠玲,马元丹,郑金萍,等. 2004. 长白山落叶阔叶混交林的物种多样性、种群空间分布格局及种间关联性研

- 究. 应用生态学报, **15**(11):2013-2018.
- 胡小兵, 于明坚. 2003. 青冈常绿阔叶林中青冈种群结构与分布格局. 浙江大学学报(理学版), **30**(5):574-579.
- 黄世能, 李意德, 骆世寿, 等. 2000. 海南岛尖峰岭次生热带山地雨林树种间的联结动态. 植物生态学报, **24**(5):569-574.
- 季方, 马英杰, 樊自立. 2001. 塔里木河冲积平原胡杨林的土壤水分状况研究. 植物生态学报, **25**(1):17-21.
- 李建民, 谢芳, 陈存及, 等. 2001. 光皮桦天然林群落优势种群的种间联结性研究. 应用生态学报, **12**(2):168-170.
- 李先琨, 黄玉清, 苏宗明. 2000. 元宝山南方红豆杉种群分布格局及动态. 应用生态学报, **11**(2):169-172.
- 李宗峰, 陶建平, 王微, 等. 2005. 岷江上游退化植被恢复演替过程中优势种群空间分布格局研究. 西南师范大学学报(自然科学版), **30**(2):329-332.
- 刘加珍, 陈亚宁, 李卫红, 等. 2004. 塔里木河下游植物群落分布与衰退演替趋势分析. 生态学报, **24**(2):379-383.
- 刘萍萍, 程积民. 2000. 植物种间联结关系的研究. 水土保持研究, **7**(2):179-184.
- 苏志尧, 吴大荣, 陈北光. 2000. 粤北天然林优势种群结构与空间格局动态. 应用生态学报, **11**(3):337-341.
- 孙学刚, 肖雯, 贾恢先. 1998. 疏勒河中游刚毛柽柳盐漠的群落结构、种群空间格局及种间联结性的研究. 草业学报, **7**(2):10-17.
- 王伯荪, 彭少麟. 1989. 南亚热带常绿阔叶林种间联结性测定技术研究. 生态学杂志, **8**(4):59-61.
- 王得祥, 陈海滨, 刘建军, 等. 1998. 秦岭华山松种群分布格局及动态研究. 西北植物学报, **18**(4):622-628.
- 王巍, 刘灿然, 马克平, 等. 1999. 东灵山两个落叶阔叶林中辽东栎种群结构和动态. 植物学报, **41**(4):425-432.
- 吴大荣, 苏志尧, 李秉滔, 等. 2000. 福建三明莘口青钩栲种群结构和空间分布格局动态初步研究. 林业科学, **36**(3):27-32.
- 尹林克, 李涛. 2005. 塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析. 植物生态学报, **29**(2):226-234.
- 张大勇. 2000. 理论生态学研究. 北京:高等教育出版社:170-172.
- 张继义, 赵哈林. 2004. 科尔沁沙地草地植被恢复演替进程中群落优势种群空间分布格局研究. 生态学杂志, **23**(2):1-6.
- 张金屯. 1995. 植被数量生态学方法. 北京:中国科学技术出版社:257-259.
- 张金屯. 1998. 植物种群空间分布的点格局分析. 植物生态学报, **22**(4):344-399.
- 张文辉, 卢志军, 李景侠, 等. 2002. 陕西不同林区栓皮栎种群空间分布格局及动态的比较研究. 西北植物学报, **22**(3):476-483.
- 张元明, 陈亚宁, 张小雷. 2004. 塔里木河下游植物群落分布格局及其环境解释. 地理学报, **59**(6):903-910.
- 郑元润. 1998. 大青沟森林植物群落主要木本植物种群分布格局及动态的研究. 植物学通报, **15**(6):52-58.
- 郑元润. 1999. 大青沟森林植物群落主要木本植物生态位研究. 植物生态学报, **23**(5):475-479.
- Blackman GE. 1942. Statistical and ecological studies in the distribution of species in plant communities. I. Dispersion as a factor in the study of changes in plant population. *Annals of Botany*, **6**:351-370.
- Clark PJ, Evans FC. 1967. Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, **35**:445-453.
- David FN, Moore PG. 1954. Notes on contagious distribution in plant population. *Annals of Botany*, **18**:47-53.
- Diggle PJ. 1983. Statistical Analysis of Spatial Point Patterns. New York:Academic Press.
- Greig-Smith P. 1983. Quantitative Plant Ecology. 3rd ed. Oxford:Blackwell.
- Greig-Smith P. 1979. Pattern in vegetation. *Journal of Ecology*, **67**:755-779.
- Hill MO. 1973. Reciprocal averaging, an eigenvector method of ordination. *Journal of Ecology*, **61**:237-249.
- Janson S, Vegelius J. 1981. Measure of ecological association. *Oecologia*, **49**:371-376.
- Lloyd M. 1967. Mean crowding. *Journal of Animal Ecology*, **36**:1-30.
- Silvertown JW. 1987. Introduction to Plant Population Ecology. 2nd ed. London:Longma.

作者简介 赵峰侠,女,1980年生,硕士研究生。主要从事保护植物学研究。E-mail:zfx0909@eyou.com

责任编辑 王伟