东灵山辽东栎林木本植物种间联结 取样技术的研究

赵则海^{1,2} 祖元刚¹ 杨逢建¹ 丛沛桐¹

(1 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室 哈尔滨 150040) (2 浙江省台州学院生物系 临海 317000)

摘要 在样地面积固定条件下,采用样方设计和样带设计,探讨了样方数目与面积之间的关系,以及样方数目与面积的变化对种间联结的影响。结果表明,正负关联比、平均物种出现率、多物种间 χ^2 值、物种对间 χ^2 值与显著率以及物种间联结系数的变化范围均可作为确定样方数目与面积的参数。在实际分析中应当综合考虑这些参数,进而选择最佳样方数目及面积进行种间联结分析。在样地总面积均为 1 200 m² 条件下,样带设计在各项指标上规律性比较明显,样方数为 50,面积为 25 m² 最为合适,样方设计的各项参数稍差一些,需要进一步增加样方总面积才能得到更合适的样方数。分别按选定的最适样方数进行物种对联结性分析,对比分析结果显示样带设计对联结性和关联程度的检测效果好于样方设计,它的研究结果更与实际情况相符合。因此,在总样地面积有限的情况下,样带设计是进行种间联结分析的较好选择。

关键词 辽东栎林 种间联结 取样技术

STUDY ON THE SAMPLING TECHNIQUE OF INTERSPECIFIC ASSOCIATION OF LIGNEOUS PLANT IN *QUERCUS LIAOTUNGENSIS* FOREST IN DONGLING MOUNTAIN

ZHAO Ze-Hai^{1,2} ZU Yuan-Gang¹ Yang Feng-Jian¹ and Cong Pei-Tong¹

(1 Key Laboratory of Forestry Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, China)

(2 Department of Biology, Taizhou University of Zhejiang, Linhai, 317000, China)

Abstract Increasing quadrat area or quadrat number for the study of interspecific associations in plant communities aims at adding overall sample area. The overall sample area that was chosen by many scholars on studying interspecific association were between 3 000 m² and 40 000 m², and the quadrat areas were 25 m², 100 m² and 400 m². The overall sample areas were limited in some cases (e.g. endangered species or monodominant communities) because the distribution areas are often limited. Therefore overall sample area for studying interspecific association could not be determined arbitrarily. Under condition of fixed overall sample areas, the sampling strategy needs to be explored.

The typical sampling area of *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain in Beijing was chosen. The transect that its overall area was 1 250 m² (5 m × 250 m) was designed. Three quadrats that its overall area were 1 200 m² (3 × 20 m × 20 m) was chosen for the study. The transect was segmented equably according to long border, the area summation of all quadrats was equal to that of the overall transect. Because three quadrats were discontinuous, every one was divided according to definite border or area, and the area summation of all divided quadrats was equal to the overall area of three quadrats. The sample area was divided into some grids. The coordinate and quantity of every individual was measured in all grids.

Under conditions of given sample area, some interrelations of quadrat number and area and affects of interspecific association were discussed based on quadrat and transect design. The results showed that positive and negative interspecific association ratio, species average appearance ratio, total multi-species χ^2 -test, χ^2 -test and significant ratio of species pairs and variation range of interspecific association coefficient could be adopted and applied synthetically to choose optimal quadrat number and area. Under condition of 1 200 m² sample area, regularity of those parameters was showed obviously on transect design for sampling technique of *Quercus liaotungensis* forest, and the choice of 50 quadrats and 25 m² for each quadrat were optimal quadrat number and area for analysis of interspecific association in this area. The quadrat design was revealed some shortages, and total sample area must be added for gained optimal quadrat number and area.

Based on study results of interspecific association analysis according to optimal quadrat number, effects of transect design were better than that of quadrat design. Therefore, under condition of limited total sample area, transect design was better choice for analysis of interspecific association.

Key words *Quercus liaotungensis* forest Interspecific association Sampling technique

种间联结是指不同物种在空间分布上的相互关联性,通常是由群落生境的差异影响了物种的分布而引起的(王伯荪,1989;Greig-Smith,1983)。在植物群落学研究中,种间联结的测定与分析对种群动态、群落结构和群落演替等方面的研究具有重大意义。目前以二元数据为主的种间联结研究较多(杜道林等,1995;郭志华,1997;刘萍萍等,2000;金则新,2002)。近年来种间联结研究具有采用定量数据进行研究的趋势,如在 χ^2 检验的基础上引入相关系数分析种间联结性(李新荣,1999)。由于种间联结测度常常采用 2×2 联列表进行计算,其测定结果受样方面积大小和样方数目多少的影响很大(Chapman,1980;Pielou,1988;彭少麟,1996)。彭少麟等曾探讨了常绿阔叶林不同样方数目和样方面积对种间联结测定的影响,提出取样面积 $50 \sim 100 \text{ m}^2$ 、样方数目 $30 \sim 50$ 个较为适宜的结论(彭少麟,1996;王伯荪等,1985)。现在很多学者进行种间联结研究所采用的样地总面积多在 $3\,000 \sim 40\,000 \text{ m}^2$ 之间,单元样方面积多以 25 m^2 、 100 m^2 或 400 m^2 为主(杜道林等,1995;郭志华,1997;李新荣,1999;周先叶,2000)。无论是增加样方面积或样方数目,前人的取样方法均是通过增加总样地面积寻求最佳研究方案,是一个相对开放的研究系统。物种之间的相互作用具有一定空间范围,超过相应的界限它们将不再有相互作用(郭志华等,1997),因此样地总面积大小应根据植物群落特点确定。仅参考前人经验性的取样方法具有一定的盲目性,需要发展一些简单可靠、针对性强的取样方法。本文采用相对固定的研究系统(即调查样地总面积、总物种数相对固定)来探讨取样数目与采样面积对种间联结性的影响,为植物群落种间联结分析提供新的取样方案。

1 样地概况

东灵山地区位于北纬 $39^\circ 48' \sim 40^\circ 00'$,东经 $115^\circ 24' \sim 115^\circ 36'$,为太行山系小五台山余脉,海拔 $1\,000 \text{ m}$ 左右。该地区为暖温带大陆性季风气候,土壤主要为山地棕壤土和山地褐色土,植被区划属于暖温带落叶阔叶林,辽东栎(*Quercus liaotungensis*)林主要分布在海拔 $800 \sim 1\,600 \text{ m}$ 之间。辽东栎林样地内主

要木本植物有21种,其中乔木9种,灌木12种。主要物种名称及物种编号见表1。

2 研究方法

2.1 样地设计

在北京东灵山地区选择较为典型的、保护较好的辽东栎林样地,从山体基部到山顶设置一条样带(去掉山下和山顶受极端环境条件影响部分),海拔在 $1\,200 \sim 1\,300 \text{ m}$ 之间,西坡,坡度在 $20^\circ \sim 40^\circ$ 之间,总面积为 $1\,250 \text{ m}^2$ ($5 \text{ m} \times 250 \text{ m}$),作为样带设计;另外在样带附近山坡设置总面积为 $1\,200 \text{ m}^2$ 的3个相互独立的样方($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$)作为对照,海拔分别为 $1\,090 \text{ m}$ 、 $1\,200 \text{ m}$ 和 $1\,250 \text{ m}$,坡度分别为 27° 、 29° 和 38° ,作为样方设计。样带按长轴直接进行等分,单元样方的面积总和等于总样带面积。相互独立的3个样方按一定的边长进行等分产生单元样方,即按边长等分原则格栅化;另外按整除的原则对总面积直接等分,使得单元样方面积的总和等于总样方面积。两种设计格栅化后的样方数和样方面积的关系见表2。用皮尺将样地分隔成若干网格,对每个植株用尺定位,记录其坐标位置、胸径或基径、高度和冠幅等指标。

2.2 测度方法

2.2.1 多物种间总体关联性检验

方差比率(VR)计算(Pielou,1988;彭少麟,1996)

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2$$

其中, S_T^2 为总体样本方差, δ_T^2 为总物种数方差;如 $VR > 1$,多物种间为正关联, $VR < 1$ 多物种间为负关联, $VR = 1$ 物种间相互独立。应用统计量 W ($W = N \times VR$)检验VR的显著性, N 为总样方数。 χ^2 分布90%置信区间为: $\chi_{0.95}^2, N^2 < W < \chi_{0.05}^2, N^2$ (刘萍萍等,2000)。

2.2.2 成对物种种间联结性检验

(1)根据 2×2 列联表的 χ^2 统计量测定种间联结性。本文采用矫正系数公式(王伯荪等,1985;周先叶等,2000):

$$\chi^2 = \frac{(|ad - bc| - 0.5n)^2 n}{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)}$$

式中 n 为取样总数, a 为种对均出现样方数, b 、 c 为

表 1 样方设计与样带设计中主要木本物种名称和频度
Table 1 Species name and frequency data in quadrat design and belt transect design

编号 Number	物种名称 Species name	样方设计 The quadrat design	样带设计 The belt transect design
		频度 Frequency (%)	频度 Frequency (%)
1	大果榆 <i>Ulmus macrocarpa</i>	29.69	—
2	大叶白蜡 <i>Fraxinus rhynchophylla</i>	96.88	84
3	蒙椴 <i>Tilia mongolica</i>	40.63	1
4	五角枫 <i>Acer mono</i>	96.87	44
5	棘皮桦 <i>Betula dahurica</i>	39.06	14
6	辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>	96.87	81
7	山杨 <i>Populus davidiana</i>	6.25	—
8	山桃 <i>Prunus davidiana</i>	6.25	2
9	山杏 <i>Prunus armeniaca</i> var. <i>ansu</i>	4.69	—
10	毛樱桃 <i>Prunus tomentosa</i>	29.69	—
11	虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>	9.38	—
12	三亚绣线菊 <i>Spiraea trilobata</i>	53.13	—
13	太平花 <i>Philadelphus pekinensis</i>	9.38	—
14	柔毛绣线菊 <i>Spiraea pubescens</i>	89.06	77
15	小花溲疏 <i>Deutzia parviflora</i>	75.00	54
16	鼠李 <i>Rhamnus davurica</i>	31.25	13
17	红丁香 <i>Syringa villosa</i>	59.37	1
18	二色胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i>	95.31	61
19	六道木 <i>Abelia biflora</i>	79.69	33
20	毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	15.63	6
21	照山白 <i>Rhododendron micranthum</i>	—	67

种对仅出现 1 个的样方数 , d 为种对均未出现样方数 ; $ad > bc$ 时为正联结 , $ad < bc$ 时为负联结 ,若 $\chi^2 > 3.841$ ($0.01 < p < 0.05$)时种对间联结显著 , $\chi^2 > 6.635$ ($p < 0.01$)时种对间联结极显著。

(2) 种间关联度测定

联结系数(AC)的计算(彭少麟 ,1996 ;周先叶等 ,2000):

$$(ad - bc)(a + b)(b + d) \quad ad \geq bc$$
$$AC = \frac{(ad - bc)(a + b)(a + c)}{(ad - bc)(d + b)(d + c)} \quad bc > ad, d \geq a$$
$$(ad - bc)(d + b)(d + c) \quad bc > ad, d < a$$

AC 值域为[- 1 ,1], AC 越接近 1 物种间种关联越强 ,反之 ,越接近 - 1 物种间负关联越强 , AC 为 0 表明物种间完全独立。

Ochai 指数(OI)的计算 :

$$OI = \frac{a}{\sqrt{(a + b)(a + c)}}$$

OI 为 0 表示无关联 , OI 为 1 时关联度最大(王伯荪等 ,1985 ;周先叶等 ,2000) ,但不能区分关联正负性。

3 结果与分析

3.1 单元样方数与面积的对应关系及对单元样方平均物种出现率的影响

由于研究样地的总面积是固定的(即研究样地

内的总物种数 S 也可确定) ,单元样方是从样方或样带格栅化而来 ,因此单元样方数目增加必然导致其面积减少 ,两者关系见图 1、表 2。样带设计与样方设计的单元样方的面积与样方数目对应关系符合指数方程 $y = 1\,219.9x^{-0.9947}$ ($R^2 = 0.9998$) ,具有完全相同的变化规律。样方面积在样方数目小于 50 反应敏感 ,下降幅度较大 ,样方数目大于 50 样方面积变化较小。受总样地面积和研究植物个体投影面积的限制 ,样方数目不能无限制的增加(即样方面积不能太小)。

图 1 样方设计与样带设计中样方数目与面积的关系以及对平均物种出现率的影响
Fig.1 The relation between quadrat number and area and species average appearance ratio by quadrat design and belt transect design

表 2 研究样地内不同样方数与样方面积对多物种总体关联性的变化
Table 2 Changes of total multi-species association on changing of quadrat number and area in sample area

样方设计 The quadrat design					样带设计 The belt transect design				
N	A	VR	W	T	N	A	VR	W	T
192	6.25	1.79	344.81 *	+	200	6.25	0.79	159.42 *	-
96	12.50	1.06	102.46 *	+	100	12.50	0.75	75.14 *	-
64	18.75	1.20	77.25 *	+	50	25.00	0.99	49.65 *	-
48	25.00	2.74	131.67 *	+	17	75.00	1.42	24.12 *	+
32	37.50	1.23	39.29 *	+	12	100.00	1.17	14.08	+
24	50.00	3.34	80.05 *	+	10	125.00	1.23	12.26	+
16	75.00	0.89	14.37	-	8	150.00	1.45	9.16	+
12	100.00	5.08	61.01 *	+	5	250.00	1.43	7.14	+

N 样方数 Quadrat number A 样方面积 Quadrat area (m²) VR 方差比率 Variance ratio W 统计量 Statistical value T 联结类型 Association type
 $\chi^2_{0.95,20} = 10.85$ $\chi^2_{0.05,20} = 31.41$ $\chi^2_{0.95,14} = 6.57$ $\chi^2_{0.05,14} = 23.68$ * 显著 Significant

单元样方的平均物种出现率(Species average appearance ratio in quadrat)反映单元样方内物种数目的变化。首先计算各个单元样方内的物种出现率,可由下式计算:

物种出现率 = $\frac{\text{单元样方内出现物种数}}{\text{样地内总物种数}} \times 100\%$

然后,对所有单元样方的物种出现率求平均数即为平均物种出现率。

在样方设计和样带设计中,平均物种出现率随样方数的增加(即面积减少)下降规律几乎相同,表明在样方数目大于 50(面积小于 25 m²)样方平均物种出现率下降幅度较小。样方与样带研究系统的样方数目 50~75 个之间,即样方面积在 16~25 m²之间,样方平均物种出现率接近于 50%,比较有利于 2×2 列联表的物种二元属性数据的统计。

3.2 单元样方数与面积的变化对多物种总体关联度的影响

两种样地设计的总体关联测定结果均与单元样方数和面积密切相关(表 2)。

随着单元样方数的增多(单元样方面积减小),统计量 W 值逐渐增大,对联结性检验越显著,其中样带设计中单元样方数少于 12 个检验不出关联性。样方设计物种间几乎均为正关联,而样带设计中单元样方数在 17 和 50 之间转变为负关联。在一定意义上,样方设计是从面的角度讨论物种之间的相互作用。随着单元样方面积的减小,样方对在各个方向上的距离变化可能没有超出影响物种之间相互作用的距离,因而面积梯度上能够检测出显著的正关联,显示样方设计的总面积可能小了一些。样带设计是从线的角度讨论物种之间的相互关系,样方面积越小,样方数目越多,则出现相距较远的样方对的数目也较多,如果样方之间距离超出了物种间的相互作用距离,则没有关联。样带内样方面积大于 75

m² 时,表现为显著的正关联,样方面积过大(如 100 m² 以上)则不能检测出多物种间关联性;样方面积小于 75 m² 时,表现为显著的负关联。可见,在总样地面积相同的情况下,采用样带设计研究多物种总体关联度比样方设计更为有效。

3.3 样方设计中格栅化方式对正负关联比和显著率的影响

正负关联比(Positive and nagtive association ratio)是所有物种对的正关联数与负关联数的比值。种对 χ^2 检验的显著与否是另外一个重要的指标。 χ^2 检验的显著率(Significance ratio)为 χ^2 检验的显著(含极显著)的物种对数与所有物种对数之比的百分率。

图 2 显示了样方设计中不同单元样方数对应的正负关联比和显著率的剧烈波动,并且两者的数值变化规律相近。这种结果与样方设计中样方的格栅化方式有关。样方数为 12、24、48、96 和 192(即 3×4, 3×8, 3×16, 3×32 和 3×64)是分别从 3 个独立的样方按边长等分原则格栅化获得的;而样方数为 16、32 和 64 是按总面积与单元样方面积能否整除进行格栅化,即 1 200/16, 1 200/32 和 1 200/64。在一个

图 2 样方设计中样方数对显著率和正负关联比的影响
Fig.2 The changes of significance ratio and positive and nagtive association ratio on different quadrat numbers in quadrat design

研究系统中 样方的格栅化的规则应当是一致的 ,不同规则的混用将导致数据的剧烈波动。由于按样方的长或宽进行等分的方式易于操作 ,结果明显 ,因此本文采用样方数为 12、24、48、96 和 192 进行联结性分析。

对于样带设计中的格栅化方式简单并易于操作 ,是沿样带的长轴进行横切等到的基本上也采取等分的原则。样带中不同单元样方数对应的正负关联比和显著率的变化基本上呈单调变化趋势(图 3 ,图 4)。

图 3 样方设计与样带设计中样方数对种间正负关联比的影响
Fig.3 Affect on positive and negative interspecific association ratio based on quadrat number and area by quadrat and transect design

图 4 样方设计与样带设计中样方数对种间关联显著率的影响
Fig.4 Affect on interspecific association significant ratio based on quadrat number by quadrat and transect design

3.4 样方数目与面积的变化对物种对联结性的 χ^2 检验的影响

样方面积及样方数量对物种对的正负关联的影响已经得到广泛的注意。郭志华等(1997)基于 100 m² 和 400 m² 样方设计研究物种间联结性在空间上的变化 ,并认为 100 m² 样方较为适合物种间联结性的分析。样方面积对种对联结性检验的正负联结关系影响比较敏感 ,建议正联结与负联结的物种对相等时作为野外样方的最小面积(李新荣,1999;祝宁等,1988)。不同样方数目对应的物种对正负关联比的变化如图 3。样带设计中正负关联比最接近 1 的

样方数为 50 ,样方设计中 96 个样方对应的正负关联比最接近 1。从正负关联比角度 ,样带被分为 50 个样方、样方分为 96 个样方进行种间联结分析较为合适。

随着单元样方数目的增加 ,种对 χ^2 检验显著率具有不断上升的趋势(图 4)。需要注意的是 ,图 4 中的显著率的变化并不包含 χ^2 值为 0 的种对。样带设计的 χ^2 检验显著率变化曲线比较平滑 ,而样方设计在 48 个单元样方处出现一个波峰。分别从辽东栎林内选择具有代表性的 3 个乔木物种和 3 个灌木物种(物种编号对应的物种名见表 1),按不同样方数目计算出的种对关联的 χ^2 值(表 3)。可以清楚地看到样方设计中样方数小于 48 个、样带设计中样方数小于 50 个时 ,物种对的 χ^2 值几乎为 0 ,不能检验出种对的关联显著性 ,这也是图 4 中显著率在样方数目较少的范围内数值较低的原因。可见 ,在保证主要物种对的 χ^2 检验值不为 0 的基础上 ,对辽东栎林种间联结分析的样方数不能少于 50 个。

3.5 单元样方数目与面积的变化对种间联结系数的影响

χ^2 检验为种间联结性提供较为客观的标准 ,AC 和 OI 等联结系数的大小可以体现出 χ^2 检验不显著时的联结性。样方与样带设计中不同样方数对种间联结系数的影响较大(图 5a1、b1)。

在样方设计中 ,样方数目小于 48 (即面积大于 25 m²) ,AC 值容易出现 -1、0 和 1 的极端情况 ,表示物种对在样方内或全部出现或全部不出现 ,即样方数目过少时不能检测出物种对之间实际联结性的大小。样带设计中样方数目小于 17 时 ,6 个物种对的 AC 值均为 0 ,不能检测出种对之间的联结性 ;样方数目为 50 时(即面积为 25 m²) 明显地反映出了 6 个种对的关联性差异。从 Ochai 指数(OI)的情况看(图 5a2、b2),随着样方数目的减少(即面积的增大)样方和样带的 OI 值均增大并趋近 1。与 AC 值类似 ,样方设计中样方数小于 48 个、样带设计中样方数小于 17 个时 ,OI 值几乎都在 0.8~1.0 之间波动 ,物种对间虽然表现为较大的联结关系 ,但对物种对关联程度的区分效果不明显。在样方设计中 ,物种对关联性以 96 个样方较为明显 ;样带设计中 ,以 50 个样方较为明显 ;即使进一步增加样方数目 ,OI 值除了数值减小之外 ,其数值分布范围变化不大。

综合以上各项分析 ,样方研究系统选择 96 个样方数目、样带系统选择 50 个样方数目进行种间联结分析较为适宜。

表 3 在样方设计与样带设计中不同样方数对几个物种对 χ^2 值的影响
Table 3 Affect of χ^2 test of several species on changing of quadrat number in quadrat design and transect design

物种对 Species pairs	样方设计 The quadrat design					样带设计 The belt transect design							
	192	96	48	24	12	200	100	50	17	12	10	8	5
2-4	3.768	0.049	-0.215	0	0	-8.161	-3.615	-0.195	0	0	0	0	0
2-6	1.352	3.105	-3.336	0	0	-0.774	-0.102	-0.818	0	0	0	0	0
4-6	-3.343	2.598	-0.242	0	0	0.390	-0.005	-0.011	0	0	0	0	0
14-15	-0.001	-0.017	4.928	1.705	0	0.099	-0.265	0.116	0	0	0	0	0
14-18	-10.742	0.003	-1.890	-0.793	0	0.339	1.245	0.299	0	0	0	0	0
15-18	0.841	-0.016	2.622	1.074	0	0.010	-0.002	-0.079	0	0	0	0	0

图 5 不同样方数目与面积对种间联结系数(AC)和 Ochai 指数(OI)的影响
Fig.5 Affect of interspecific association coefficient(AC) and ochai index(OI) on changing of quadrat number and area

3.6 样方设计与样带设计植物种间联结性分析比较

结合 χ^2 值的正负和 OI 值大小可反映出物种对间联结性和共同出现机率大小,进而可以分析物种对之间的竞争程度(杜道林等,1995;彭少麟,1996)。样方设计与样带设计均针对同一林型,由于取样的差别导致样地内的物种数不同,两者的 OI 值计算结果不尽相同(图 6)。在样方设计中,只检测出 4 个物种对表现为 OI 值较高的正联结($OI \geq 0.7$)(图 6a),而在样带设计中检测出了 8 个较强的正联结,11 个较强的负联结($OI \geq 0.7$)(图 6b),且样带设计中的联结程度层次明显。显然样带设计对联结性和关联程度的检测效率高于样方设计。

以共有物种为例(表 1),其中频度较高的主要

有物种 2(大叶白蜡)、物种 4(五角枫)、物种 6(辽东栎)、物种 14(柔毛绣线菊)、物种 15(小花溲疏)和物种 18(二色胡枝子)。从乔木的情况看,样方设计中物种对 2-4、2-6、4-6 均为较强正联结,而在样带设计中均为很强的负联结。辽东栎林内的主要乔木种群之间竞争激烈,尤其是在山体中部物种的优势度出现更替,如优势种辽东栎被大叶白蜡所替代(祖元刚等 2000)。这表明物种对 2-4、2-6 和 4-6 之间是较强的排斥关系,应当表现为负联结,显然样带设计的结果与实际情况相符。灌木的情况较为复杂,除了物种对 14-15 之外,样方设计与样带设计的结果相似,只是联结程度不同。在样带设计中物种对 14-15 均为极强的正联结,物种对 15-18 之间为较强的负联结,表明小花溲疏与灌木优势种之间是以正联结

为主,样方设计中物种对 14-15 和 15-18 的 OI 值均较小,表现为较弱的负联结。在辽东栎林内柔毛绣线菊和二色胡枝子是优势种,在群落中种群比较稳定,频度较大,小花溲疏在样地内分布较少,但频度不是很低,该种群在样地内还有增长的趋势(张文辉

等 2002)。因此样地内小花溲疏与灌木优势物种总体上呈正关联,物种间是相互依赖关系。综上所述,在样地面积均为 $1\ 200\ m^2$ 条件下,样带设计更适合物种联结性分析。

图 6 样方设计与样带设计的种间联结性分析 Ochai 指数 (OI) 半矩阵图
Fig.6 The semi-matrix of interspecific association based on ochai index (OI) by quadrat and belt transect design
物种名称 Species name (1 ~ 21): 同表 1 See Table 1

4 讨 论

样地总面积相对固定条件下,拆分出的样方数目与面积呈负相关关系,不能对研究样地进行无限的拆分,因此需要根据总样地面积与研究物种的生态学特征确定样方数目梯度。综合以上的分析可以看出,样方数目与面积的变化对样方平均物种出现率、多物种间 χ^2 检验值与显著率、物种对间 χ^2 检验值与显著率、正负关联比以及种对联结系数均有很大影响,因此在实际分析中应当综合考虑这些因素,进而确定样方数目及面积。本研究中样方设计中的样方数为 96 个(即面积为 $12.5\ m^2$)时,对应的正负关联比最接近 1, χ^2 检验显著率较高,虽然样方平均物种出现率较低,但总体多物种 χ^2 检验几乎均为正联结,表明该因素对种间联结分析的影响不大。在样带设计中,样方数为 50 对应的样方平均物种出现率接近 50%,总体关联类型恰好从正到负,物种对 χ^2 检验正负关联比最接近 1,因此样带设计中种间联结分析选择 50 个样方(面积为 $25\ m^2$)比较合适。

辽东栎林的样方设计和样带设计中,在相同的样地总面积条件下,能够更加有效地分析种间联结性,可以揭示出更多的物种间的相互关系,如物种在不同生长距离上的相互作用等。面积为 $1\ 200\ m^2$ 样方设计则不足以揭示出一定距离上的物种对之间的相互作用,需要进一步增加样方总面积。对某些特定物种群落(如濒危物种群落或单优种群落等)而言,特定物种群落往往存在有限的分布范围,即样地总面积往往是有限的。在实际研究中采用样带调查,通过格栅化,筛选合适的样方数(同时样方面积也就确定了),进行种间联结分析是比较简捷、可靠的方法。

参 考 文 献

Chapman, S. B. (translated by Yang, H. X. (阳含熙)). 1980. Methods in plant ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
Du, D. L. (杜道林), Y. C. Liu (刘玉成) & R. Li (李睿). 1995. Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Castanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China. Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报), 19: 149 ~ 157. (in Chinese with English abstract)
Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant ecology. 3rd ed. London: Blackwell Scientific Publications.

- Guo, Z. H. (郭志华), Z. D. Zhuo (卓正大), J. Chen (陈洁) & M. F. Wu (吴梅凤). 1997. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broad-leaved forest in Lusan Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **21**: 424 ~ 432. (in Chinese with English abstract)
- Jin, Z. X. (金则新). 2002. A study of dominant population structure and interspecific association of *Heptacodium miconioides* community in Tiantai Mountain of Zhejiang province. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **22**: 76 ~ 83. (in Chinese with English abstract)
- Li, X. R. (李新荣). 1999. Interspecific association and correlation of shrub layer in the coniferous-broad-leaved Mixed Geobotanical Zone of Russia plain. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**: 55 ~ 60. (in Chinese with English abstract)
- Liu, P. P. (刘萍萍) & J. M. Cheng (程积民). 2000. Study on plant interspecific association. *Research of Soil and Water Conservation* (水土保持研究), **7**: 179 ~ 184. (in Chinese with English abstract)
- Peng, S. L. (彭少麟). 1996. Community dynamics in south subtropical forest. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Pielou, E. C. (translated by Lu, Z. Y. (卢泽愚)). 1988. Mathematical ecology. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Wang, B. S. (王伯荪) & L. S. Peng (彭少麟). 1985. Studies on the measuring techniques of interspecific association of the lower subtropical evergreen-broadleaved forest. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), **9**: 274 ~ 285. (in Chinese with English abstract)
- Wang, B. S. (王伯荪). 1989. Plant population biology. Guangzhou: Zhongshan University Press. (in Chinese)
- Zhou, X. Y. (周先叶), B. S. Wang (王伯荪), M. G. Li (李鸣光) & Q. J. Zan (詹启杰). 2000. An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Nature Reserve, Guangdong province. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**: 332 ~ 339. (in Chinese with English abstract)
- Zhu, N. (祝宁) & B. Shao (邵彬). 1988. Primary exploration on interspecific association of ligneous plant under virgin korean pine forest. *Journal of North Eastr Forestry University* (东北林业大学学报), **16**: 1 ~ 9. (in Chinese with English abstract)
- Zu, Y. G. (祖元刚), Z. H. Zhao (赵则海), P. T. Cong (丛沛桐) & B. L. Chen (陈伯林). 2000. Fractal analysis on spatial distribution patterns of population from *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain, Beijing China. *Bulletin of Botanical Research* (木本植物研究), **20**: 112 ~ 119. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, W. H. (张文辉), Z. H. Zhao (赵则海), H. Q. Sun (孙海芹) & Y. G. Zu (祖元刚). 2002. Study on population diameter structures of tree and shrub dominant plants in *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain in Beijing. *Bulletin of Botanical Research* (植物研究), **22**: 84 ~ 90. (in Chinese with English abstract)

责任编辑 : 张金屯 责任编辑 张丽赫