

塔里木河中下游地区荒漠河岸林群落种间关系分析

尹林克¹ 李 涛²

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011) (2 新疆环境保护研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘 要 采用 2×2 列联表,应用 Fisher 精确检验法研究了新疆塔里木河中下游荒漠河岸林群落种间关系,测定了 16 种植物、共 120 个种对的种间联结性。研究结果表明:1) 120 个种对中有 17 个种对分别在不同的样方尺度中表现出显著或极显著的种间联结,约占总数的 14.2%;其中 13 个种对为正关联,4 个种对为负关联;2) 不同取样面积对种间联结性分析的有效性有影响,不同种对表现出种间联结的最小样方尺度不同;3)随着样方面积的增大,各种对自有不同的种间联结变化规律,可归纳为 4 种类型;4)17 个具种间联结的种对以灌木-草本和草本-草本的种对居多,占总数的 76.5%;主要乔木树种胡杨(*Populus euphratica*)与灌木之间、灌木和灌木之间趋向独立分布。

关键词 塔里木荒漠河岸林群落 种间联结 列联表 Fisher 精确检验

INTERSPECIFIC RELATIONSHIP ANALYSIS OF DESERT RIPARIAN FOREST PLANT COMMUNITIES IN THE MIDDLE AND LOWER REACHES OF THE TARIM RIVER

YIN Lin-Ke¹ and Li Tao²

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

(2 Xinjiang Institute of Environmental Protection, Urumqi 830011, China)

Abstract Based on data obtained from field investigations, this paper aims to analyze the inter-specific relationships of desert riparian forest plant communities, assess the influence of different quadrat sizes on inter-specific associations, discuss what is an appropriate quadrat size for best results, and present the relationships among populations in desert riparian forests in the middle and lower reaches of the Tarim River using Fisher's exact test. The results showed that 16 species noted in 21 sampling sites formed the principal community of the desert riparian forest. The vertical structure of the forest consisted of a tree layer, shrub layer and herb layer. It was found that 4 sampling sites had 3 layers, 10 had 2 layers and 7 had 1 layer. There were 120 species pairs formed by 16 species in 210 quadrats among which 17 species pairs showed significant and very significant inter-specific associations, accounting for 14.2% of total species pairs. Thirteen species pairs were positively correlated and four species pairs were negatively correlated. The size of the quadrat influenced the inter-specific associations among species pairs, but the most suitable quadrat size varied among species and sampling sites. A quadrat from 8 m × 8 m to 30 m × 30 m may be the most suitable size for analysis of inter-specific associations of desert riparian forest communities in Tarim River basin. Different species pairs had different minimum quadrat sizes. There was spatial variance in the interaction between different populations of the desert riparian forest. Different patterns and relationships of inter-specific associations were found as the size of the quadrat increased. Generally, four types of changes in species associations were observed with changing quadrat size. For the first type, the correlative significance of species pairs changed from high to low and then to high as the quadrat size changed from the minimum size of 2 m × 2 m to the maximum size of 32 m × 64 m. These species pairs accounted for 17.6% of the total species pairs. In the second type of variation, the correlative significance of species pairs changed from low to high and then to low with an increase in quadrat size. These species pairs accounted for 41.2% of the total. For the third type, the significant and very significant inter-specific associations occurred in quadrats that ranged in size from 8 m × 16 m to 32 m × 64 m. The correlative significance of species pairs changed from low to high, and if the quadrat size continued to increase, new relationships would emerge. These species pairs accounted for 29.4% of the total. For the forth type, the significant and very significant inter-specific associations changed from low to high and then from low to high again as the quadrat size continued to increase. These species pairs accounted for 11.8% of the total. Species

associations among shrub-herb and herb-herb pairs were more numerous in 17 inter-specific associations, accounting for 76.5% of the total. Species associations between *Populus euphratica* and arbor and shrub-shrub were distributed independently of each other. Even if inter-specific associations among species-pairs appeared, they were usually negative correlations. Most species-pairs, which were between arbor and herb-shrub and herb-herb, typically had positive correlations.

Key words Tarim River, Desert riparian forest community, Inter-specific relationship, Fisher's exact test for contingency table

种间关系是植物群落重要的数量和结构特征之一。种间联接是指不同物种在空间分布的相互关联性,通常是由于群落生境的差异影响了物种的分布而引起的(王伯荪和彭少麟, 1985; Greig-Smith, 1983)。测定不同种的种间联结(Association)性大小能揭示植物种在空间上共同出现或结合的程度。说明植物种是独立分布,还是存在相互吸引或排斥的关系(宋永昌, 2001)。可以深入了解群落结构、物种间的相互作用、各种群与环境因子的关系。

近年来,针对种间关系的研究方法和不同植被类型的优势种种间的联结性,国内学者作了不少工作(王伯荪和彭少麟, 1985; 王祥荣和宋永昌, 1994; 杜道林等, 1995; 刘庆等, 1996; 孙伟中和赵士洞, 1997; 郭志华等, 1997; 李先琨等, 1999; 李新荣, 1999; 周先叶等, 2000; 郭相亿等, 2001; 张思玉, 2001; 汪建华和李旭光, 2001)。也有少数学者对水生植物群落和荒漠植物群落的种间关联性进行了研究(孙学刚等, 1998; 陈中义和陈家宽, 1999; 李正海和包雅静, 2000)。而对荒漠区生态环境脆弱带(Ecotone)中植物群落种间关系的研究少有报道。种间联结的有效性 with 取样面积有关,但有关这方面研究不多,且尚无明确的定论(彭少麟和王伯荪, 1985; 陈中义和陈家宽, 1999; 李德志等, 1996; 张峰和上官铁梁, 2000)。

本文旨在通过对新疆塔里木河中下游荒漠河岸磷群落的种间关系分析,研究不同取样面积对种间联结的结果是否存在影响,探讨是否存在最适的取样面积,了解荒漠河岸林群落内各种群之间的内在联系。研究结果将对塔里木河流域受损植被恢复与退耕还林还草后的植被重建有重要意义。

1 研究区域概况

研究区域位于新疆塔里木盆地北部塔里木河中下游,地处 $86^{\circ}15' \sim 88^{\circ}00' \text{ E}$, $40^{\circ}30' \sim 41^{\circ}30' \text{ N}$,属于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 $2\,965 \text{ mm}$ 。光照丰富,年日照时数为 $3\,000 \text{ h}$ 。年平均温度高于 10°C 。最低气温 -20°C ,最高气温 39°C 。该地区土壤为盐化草甸土、胡杨(*Populus euphratica*)林

土、盐土、风沙土和沼泽土等。本区植被具有温带荒漠的特殊性,盆地植被呈紧缩型分布,在广大空间裸露而于河流沿岸集结。分布较广的种类是在地表水条件极为异质的生境中完成其生活周期的类型。由于受塔里木河的影响,非地带性的水分条件丰富了一些沿河岸地貌分布占优势的沙漠植被类型,出现了以胡杨为建群种的荒漠河岸落叶阔叶林(杜加依林)。由于上游地区补给干流水量年递减约 $3\,000 \text{ 万 m}^3$,导致中下游地下水位下降,自然植被日趋退化。近 10 年的盲目土地开垦活动,也使一部分天然植被受到破坏。

2 研究方法

2.1 样带样方设置与调查方法

2002 年 7~9 月,在新疆尉犁县城至新疆生产建设兵团农二师 35 团范围内的塔里木河中下游荒漠河岸林群落内,设置了 3 条垂直于塔里木河河道的样带。在样带内采用分层取样的方法对群落内不同的植被层进行调查。在样带内以近似等距离设置 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的样地 21 个(图 1)。样地作为乔木样方。沿每个样地对角线设 3 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的灌木样方。沿每个样地的对角线作宽为 2 m 的小样带 2 条,每间隔 2 m 设一个 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的草本样方。在不同层次的样方中分别调查乔木、灌木和草本植物的物种组成、株(丛)高、冠(丛)幅和数量。

以 21 个样地为基点,运用巢式取样法(周纪伦等, 1992),分别设置了以 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 为最小样方面积,依次向外以 2 倍面积递增的 10 种不同尺度($2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, $2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$, $4 \text{ m} \times 8 \text{ m}$, $8 \text{ m} \times 8 \text{ m}$, $8 \text{ m} \times 16 \text{ m}$, $16 \text{ m} \times 16 \text{ m}$, $16 \text{ m} \times 32 \text{ m}$, $32 \text{ m} \times 32 \text{ m}$ 和 $32 \text{ m} \times 64 \text{ m}$)的样方,共 210 个。分别记录不同级别样方中出现的植物种类。植被调查的同时记录各样地的环境要素。并在样地中心的空地挖土壤剖面,采集土样;打观测井,测地下水埋深位,取水样。

2.2 种间联结的测定

种间联结的测定有联结指数 IA (Jaccard, 1901; Dice, 1945)、 AC 和 χ^2 检验(张思玉, 2001; 郭志华等, 1997)等方法。对于样本数小于 40 或有单元格中的

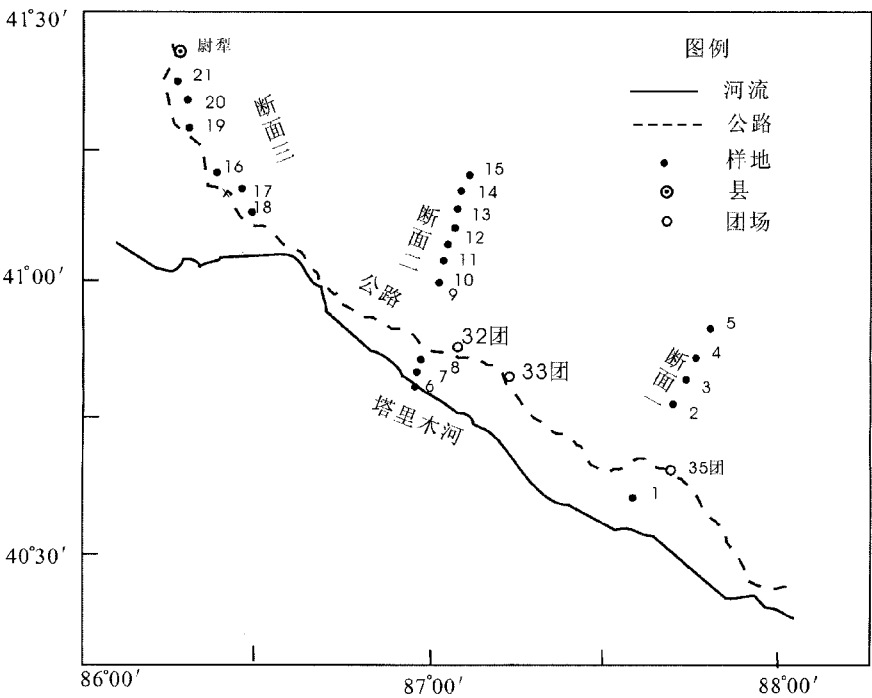


图1 塔里木河中下游3条样带及21个样地的布设

Fig.1 The distribution of 3 sectors and 21 sampling sites in the middle and lower reaches of Tarim River

期望频数小于5时,适合使用 2×2 列联表的 Fisher 精确检验测定种间联结(张峰和上官铁梁,2000; 卢纹岱,2002)。在本研究中样方数为21,故采用 Fisher 精确检验法测定种间联结。

利用巢式取样法获取的定性数据,按照不同的样方面积尺度,分别构建 21×16 的二元数据矩阵。用1表示该物种存在,0表示该物种不存在。应用 SPSS10.0 软件进行120个种对的 2×2 联列表的 Fisher 精确检验(吴仲贤,1993)。任一联列表的 Fisher 精确检验表达式如下:

$$p(1) = \frac{(a+b)!(c+d)!(a+c)!(b+d)!}{N! a! b! c! d!}$$

对于任一 2×2 列联表,精确检验首先按公式,求出 $p(1)$ 。然后在保持行、列总数($a+b, c+d, a+c, b+d$)不变的前提下,将表中最小的值,逐个降低直到为0。每降低一次,按照公式求 $p(2)$ 、 $p(3)$ 、 $\cdots p(j) \cdots$, $p = \sum_{i=1}^m p(i)$ 即为其精确检验的结果。

3 结果与分析

3.1 研究区的植物物种与结构组成

荒漠河岸林植物种类少,群落结构简单。在研究区记录到的高等植物约有30种,分别属于13科28属。 $1\,000\text{ m}^2$ 的范围内一般有植物3~8种。在

水土条件较好的地段植物种类可达到10种以上。环境条件极端恶劣的地段可见到仅有1~2种植物组成的群落。

在所调查的3条样带21个样地中共计出现了16种植物(表1),分属于11科15属。组成了研究

表1 新疆塔里木河中下游21个样地内出现的植物种

Table 1 List of plant species in 21 sampling sites in the middle and lower reaches of Tarim River, Xinjiang

编号 Code	种名 Species
1	胡杨 <i>Populus euphratica</i>
2	多枝怪柳 <i>Tamarix ramosissima</i>
3	刚毛怪柳 <i>Tamarix hispida</i>
4	塔里木沙拐枣 <i>Calligonum roborouskii</i>
5	黑果枸杞 <i>Lycium ruthenicum</i>
6	铃铛刺 <i>Halimodendron halodendron</i>
7	盐穗木 <i>Halostachys caspica</i>
8	盐爪爪 <i>Kalidium foliatum</i>
9	花花柴 <i>Karelinia caspica</i>
10	疏叶骆驼刺 <i>Alhagi sparsifolia</i>
11	大叶白麻 <i>Poacynum hendersonii</i>
12	芦苇 <i>Phragmites australis</i>
13	河西菊 <i>Hexinia polydichotoma</i>
14	喀什牛皮消 <i>Cynanchum kashgaricum</i>
15	胀果甘草 <i>Glycyrrhiza inflata</i>
16	蓼子朴 <i>Inula salsoloides</i>

区荒漠河岸林群落的主体。群落垂直结构最多为乔、灌、草 3 层。在调查的 21 个样地中,具 3 层结构的有 4 个,具 2 层结构的有 10 个,仅具 1 层结构的有 7 个。植物水平分布稀疏,表现为植株个体间和种与种之间的水平距离大。乔木层仅由胡杨组成;灌木层以铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、塔里木沙拐枣(*Calligonum roborovskii*)、多枝怪柳(*Tamarix ramosissima*)、刚毛怪柳(*Tamarix hispida*)、盐穗木(*Halostashys caspica*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)和盐爪爪(*Kalidium foliatum*)为主;草本层以花花柴(*Karelinia caspica*)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、大叶白麻(*Poacynum hendersonii*)、芦苇(*Phragmites australis*)、河西菊(*Hexinia polydichotoma*)、喀什牛皮消(*Cynanchum kashgaricum*)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata*)和蓼子朴(*Inula salsoloides*)为主。16 种植物在 10 种不同尺度的 210 个样方中组成了 120 个种对。

3.2 取样面积的有效性

不同种群是在一定的空间范围内发生作用的,超过这个范围,其间的直接相互作用必将逐渐消失。借助样方大小的变动,可以明确反映种间联结性在

空间上的变化。种间关联的测定结果受取样面积影响,当样方过小或过大都不能正确反映种间关联的性质(陈中义和陈家宽,1999)。

经实地调查和土样水样分析测定,在小于 32 m × 32 m 的样方尺度内,地形、地下水位、土壤类型、盐分、土壤 pH 值、有机质含量等环境要素基本相对一致。但当样方面积大于 32 m × 32 m,由于水、土、盐的微地形的变化,导致上述环境要素发生异化。这时样方内出现的植物种,实际上已经包括了适应于不同水、盐等立地条件的种下生态型。在这种大样方面积下进行种间联结分析,将会产生与小样方截然不同的结果。

如表 2 所示,例如牛皮消-河西菊这一种对,在样方面积从 2 m × 2 m 一直到 32 m × 32 m(除 4 m × 8 m 外)的范围内,分析结果显示这一种对有显著正关联;而在样方面积为 32 m × 64 m 时,结果显示这一种对无显著关联。如果仅以 32 m × 64 m 样方尺度下的结果作为依据,有可能将本来有显著关联的种对认定为是独立分布的种对。

因此仅在某一种样方面积下研究物种的种间联结性,得到的结果可能是片面的、不完全的。并不存

表 2 不同样方尺度下植物种对的 Fisher 精确检验显著性 *p* 值
Table 2 *p* value of plant species pairs produced by Fisher's exact test at different quadrats sizes

物种对 Species pairs	显著关联与极显著关联种对的 <i>p</i> 值 <i>p</i> value of species-pairs being significant or very significant									
	样方尺度 Quadrats size (m ²)									
	2 × 2	2 × 4	4 × 4	4 × 8	8 × 8	8 × 16	16 × 16	16 × 32	32 × 32	32 × 64
5-13	0.043				0.040					
5-14	0.043				0.040					
13-14	0.043	0.043	0.043		0.004	0.004	0.012	0.012	0.012	
11-13				0.024	0.024	0.024				
9-12					- 0.037	- 0.037				
11-14					0.024	0.024	0.024			
5-12					0.037		0.029	0.029	0.029	0.019
1-2						- 0.046	- 0.007	- 0.007		
1-12						0.037				
5-11						0.040	0.014	0.018	0.002	0.007
2-7							- 0.046			- 0.018
11-15							0.009	0	0	0
14-15							0.024	0.040	0.040	
1-7								- 0.046		
5-15									0.007	0.007
6-9									0.040	0.017
13-15										0.045

p < 0.05 植物种对显著关联, *p* < 0.01 植物种对极显著关联, 空白为 *p* > 0.05 植物种对无显著关联 *p* < 0.05 species pairs being significant, *p* < 0.01 species pairs being very significant, blank means *p* > 0.05 species-pairs being no significant 物种对列中的数字表示不同的植物种/每个数字相对应的种名参见表 1 Figures in the species pairs list denote the plant species, the correspondences of figures and species see Table 1

在对样地内所有物种均有效的最适样方面积。因此在分析种间关联时应综合参考各种样方面积尺度的分析结果。

宋永昌(2001)曾提出取样面积过小,种对可能多是负联结,取样面积过大,则可能多为正联结。陈中义和陈家宽(1999)对长喙毛茛泽泻(*Ranalisma rostratum*)群落内种间关联的研究也有相同的结果。在小样方面积时,出现的均为正联结,在中等样方面积和大样方面积时,正、负联结均有出现,并且种对的正负联结性也不因为样方面积的增大而发生改变。在本文的研究结果中并未出现这种情况。荒漠河岸林群落内种对间的正负联结与取样面积的大小之间的关系有关还有待于进一步研究。

Fisher 精确检验法测定结果(表 2)显示:120 个种对中共有 17 个种对分别在不同的样方尺度中表现出显著或极显著的种间联结,约占总数的 14.2%;其中 13 个种对为正关联,4 个种对为负关联。

不同种对表现出种间联结的最小样方尺度不同。表明不同种群之间发生作用的空间范围是不同的。黑果枸杞-河西菊、黑果枸杞-牛皮消和河西菊-牛皮消这 3 个种对表现出种间正联结的最小样方面积为 2 m×2 m。随着样方尺度的扩大,也在部分样方尺度下表现出显著的种间正联结。黑果枸杞-河西菊、黑果枸杞-牛皮消在 8 m×8 m 样方尺度下也表现出显著的种间正联结。河西菊-牛皮消除了 4 m×8 m、32 m×64 m 这 2 个样方尺度外,在其余的样方尺度中均表现出显著的种间正联结。结合 CCA 物种排序的结果(图 2),可以看出:黑果枸杞、河西菊和牛皮消 3 个植物种均适应水分条件较好、盐分较轻的生长环境,并且植株的个体均不大。因此在很小的样方尺度(2 m×2 m)中,就能够将物种间的联结显示出来。

大叶白麻-河西菊表现出种间正联结的最小样方面积为 4 m×8 m。花花柴-芦苇、大叶白麻-牛皮消、黑果枸杞-芦苇表现出种间联结的最小样方面积为 8 m×8 m。胡杨-多枝怪柳、胡杨-芦苇、黑果枸杞-大叶白麻表现出种间联结的最小样方面积为 8 m×16 m。多枝怪柳-盐穗木、大叶白麻-胀果甘草、牛皮消-胀果甘草表现出种间联结的最小样方面积为 16 m×16 m。胡杨-盐穗木表现出种间负联结的最小样方面积为 16 m×32 m。黑果枸杞-胀果甘草、铃铛刺-花花柴表现出种间正联结的最小样方面积为 32 m×32 m。河西菊-胀果甘草表现出种间正联结的最小样方面积为 32 m×64 m。种对表现出显著或极显

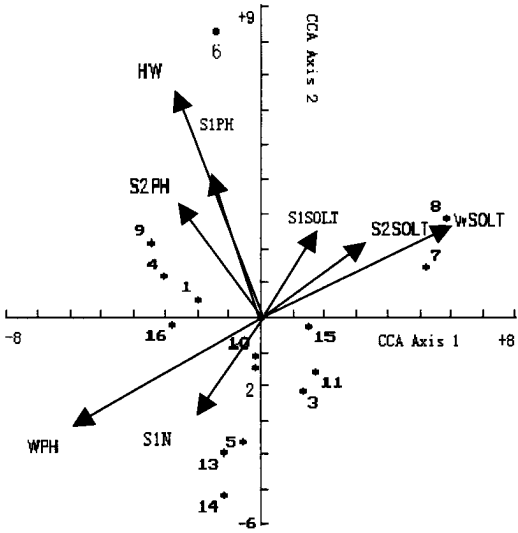


图 2 物种的 CCA 二维排序图(李涛等,2003)
Fig.2 A two-dimensional scatter plot of CCA ordination for plant species (Li et al., 2003)

1. 胡杨 *Populus euphratica* 2. 多枝怪柳 *Tamarix ramosissima* 3. 刚毛怪柳 *Tamarix hispida* 4. 塔里木沙拐枣 *Calligonum roborovskii* 5. 黑果枸杞 *Lycium ruthenicum* 6. 铃铛刺 *Halimodendron halodendron* 7. 盐穗木 *Halostachys caspica* 8. 盐爪爪 *Kalidium foliatum* 9. 花花柴 *Karelinia caspica* 10. 疏叶骆驼刺 *Alhagi sparsifolia* 11. 大叶白麻 *Poacynum hendersonii* 12. 芦苇 *Phragmites australis* 13. 河西菊 *Hexinia polydichotoma* 14. 喀什牛皮消 *Cynanchum kashgaricum* 15. 胀果甘草 *Glycyrrhiza inflata* 16. 蓼子朴 *Inula salsoloides* HW: 地下水位 Groundwater depth WSOLT: 地下水酸碱性 Groundwater pH S1SOLT: 剖面各层总盐平均值 The average contents of salt in soil profile horizons S1PH: 剖面各层酸碱性平均值 The average of pH in soil profile horizons S1N: 剖面各层有机质平均值 The average contents of organic matter in soil profile horizons S2SOLT: 剖面各层总盐最大值 The contents of salt maximum in soil profile horizons S2PH: 剖面各层酸碱性最大值 The pH maximum in soil profile horizons

著种间联结的最小样方面积与植株的个体大小和两物种在 CCA 排序图上的距离有关。植株的个体越大,两物种在排序图上的距离越远,相应的种对出现种间联结的最小样方面积也越大。

从 4 m×8 m 的样方尺度以后的每一个样方尺度下均有新的种对表现出显著或极显著的种间联结。绝大部分具有种间联结的种对出现在 8 m×8 m 样方尺度以上,且种对数几乎没有变化,趋近于定值 7(表 2,图 3)。但每个样方尺度下出现的具有种间联结的植物种对发生了改变。

3.3 种间联结性的空间变化类型

由表 2 可以看出,中等样方中出现的具有种间联结的种对与大样方中出现的具有种间联结的种对具有补充性。有的物种对的种间联结仅在中等样方中表现出来,而有的要在大样方中才表现出种间联结。各种对的种间联结性随样方尺度的变化而发生变化。根据各种对的种间联结变化规律,将各种对

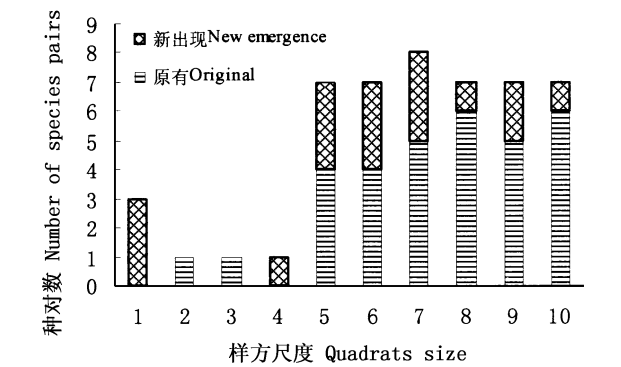


图3 不同样方尺度下出现的具有种间联结的种对
Fig.3 The number of species pairs at different quadrats size
1: 2 m × 2 m 2: 2 m × 4 m 3: 4 m × 4 m 4: 4 m × 8 m 5: 8 m × 8 m 6: 8 m × 16 m 7: 16 m × 16 m 8: 16 m × 32 m 9: 32 m × 32 m 10: 32 m × 64 m

归纳为4种类型(表3)。

类型Ⅰ：属于该类型的种对有 5-13、5-14、13-14。这3个种对从最小样方尺度(2 m × 2 m)到最大样方尺度(32 m × 64 m)，种间的显著关联表现出从有到无的循环变化。物种5、13、14在CCA物种排序图上的位置很接近，并且物种的个体也不大。所以通过研究设定样方尺度能很充分地反映它们种间联结性的变化。

类型Ⅱ：包括的种对有 1-2、1-7、1-12、9-12、11-13、11-14、14-15，共计7个种对。在10个样方尺度下，这7个种对的种间显著关联表现出从无到有再到无的变化。其中3个种对1-2、1-7、9-12表现为显著或极显著的种间负关联。各种对的物种在CCA物种排序图上的距离较远。表明呈负关联的物种对环境的适应条件相差较大。例如胡杨-盐穗木。通过盐穗木CCA物种排序图上的位置，反映它适应生长在水分条件稍好，但盐分较重的生境中。这与盐穗木代表了典型的多汁盐柴类型，对盐地生境具有很强的占有能力的特征相一致。胡杨在CCA物种排序图上的位置表明，胡杨接近CCA物种排序轴的中心。在16种物种中，胡杨对水分、盐分和碱的耐受能力适中。胡杨与盐穗木有较大的生境差异，两者表现出负关联。这些种对是在中等或较大样方尺度(4 m × 8 m ~ 16 m × 32 m)下表现出种间关联。种对11-13、11-14、14-15表现为种间正关联。物种11、13、14、15对水分条件的需求比较接近，盐分和碱分相差较大。这些物种均为草本，个体不大，因此在较大的样方尺度下表现出种间关联。

类型Ⅲ：包括的种对有 5-11、5-15、6-9、11-15、13-15。这些显著或极显著的种间关联出现在8 m × 16

m样方尺度以上，直到最大样方尺度32 m × 64 m。其中有3个种对为灌木与草本的种对，2个为草本之间的种对。物种的个体不大。种间关联从无到有，可能随着取样尺度的扩大，种间关联可能出现新的变化。

类型Ⅳ：包括的种对有 2-7、5-12。随着样方尺度的扩大，显著或极显著的种间关联从无到有，再从无到有的循环变化。其中多枝怪柳与盐穗木为负关联。多枝怪柳是荒漠地区的广泛分布的种类，是典型的荒漠-半荒漠河谷及泛滥地上的种类，特别需要含水量较多的土壤环境，也能耐一定的盐，在不同程度的盐渍化土壤上都有分布。但它不是一个真盐生植物。前人的研究也表明刚毛怪柳与盐穗木有较强的负联结性，AC值为-0.7(孙学刚等，1998)，与本研究结果相似。

在17个具有种间联结的种对中，属于类型Ⅰ的有3个种对，占总数的17.6%；属于类型Ⅱ的有7个种对，占总数的41.2%；属于类型Ⅲ的有5个种对，占总数的29.4%，属于类型Ⅳ的有2个种对，占总数的11.8%。植物种对关联与负关联的数量具有互补性，其合计数趋向一个恒数(表3)。

在荒漠地区，植物的生存环境恶劣。土壤养分和水分条件差，具有相同或相似生态位的种群与种群之间的距离较大，单位面积内植物多度和密度降低。因此大部分种对在中等样方(8 m × 8 m ~ 16 m × 16 m)和大样方(16 m × 32 m ~ 32 m × 32 m)面积下才表现出种间联结性。植株个体较小，并且适宜在水分条件较好的环境下生长的草本植物种类，如河西菊与牛皮消。在处于在水分条件较好的局部环境中，同种植物个体间的距离以及不同种群之间的距离相应较近，因此从较小的样方面积到较大的样方面积均可表现出不同程度的种间关联性。种间联结性随空间变化的4种类型正是群落水平结构特征和不同种对环境条件适应的的一种间接反映。

17个具种间联结的种对以灌木-草本和草本-草本的种对居多，占了总数的76.5%(表3)。从表中可以看出，研究区主要乔木树种胡杨与灌木之间、灌木和灌木之间是趋向独立分布的。如果在一定面积的样方内出现有关联的种对，也常常表现出负关联的种间关系。这是因为这些相对高大的木本植物个体有着较深较广的根系，需要较大的空间来满足对土壤水分的需求。乔木与草本植物之间，灌木与草本植物之间，以及草本与草本之间，由于处在不同的生态位，根系以及地上部分对光热和水分等资源的

表 3 不同样方尺度下植物种对的关联显著性
Table 3 Correlative significance of plant species pairs in different quadrats sizes

类型 Type	物种对 Species pairs	样方尺度 Quadrats size (m ²)									
		2 × 2	2 × 4	4 × 4	4 × 8	8 × 8	8 × 16	16 × 16	16 × 32	32 × 32	32 × 64
类型 I Type I	5-13	*				*					
	5-14	*				*					
	13-14	*	*	*		**	**	*	*	*	
类型 II Type II	1-2						- *	- **	- **		
	1-7								- *		
	1-12						*				
	9-12					- *	- *				
	11-13				*	*	*				
	11-14					*	*	*			
	14-15							*	*	*	
	5-11						*	*	*	**	**
类型 III Type III	5-15									**	**
	6-9									*	*
	11-15							**	**	**	**
	13-15										*
	2-7							- *			- *
类型 IV Type IV	5-12					*		*	*	*	*
	正关联种对数 Number of species pairs being positively correlative	3	1	1	1	6	5	6	5	7	6
	负关联种对数 Number of species pairs being negatively correlative	0	0	0	0	1	2	2	2	0	1
	总计 Total	3	1	1	1	7	7	8	7	7	7

* : 显著关联 Significant * * : 极显著关联 Very significant 物种对列中的数字表示不同的植物种, 每个数字相对应的种名同表 1
Figures in the species pairs list denote the plant species, the correspondences of figures and species see Table 1

表 4 4 种类型的种对统计
Table 4 The species-pairs statistics of 4 types

	乔木与灌木 Wood and shrub	乔木与草本 Wood and herb	灌木与灌木 Shrub layer	灌木与草本 Shrub and herb	草本与草本 Herb layer	合计 Total
类型 I Type I	0	0	0	2	1	3
类型 II Type II	2	1	0	0	4	7
类型 III Type III	0	0	0	3	2	5
类型 IV Type IV	0	0	1	1	0	2
合计 Total	2	1	1	6	7	17
%	11.7	5.9	5.9	35.3	41.2	100

获取未产生大的冲突,往往能形成较稳定的种间关系。这些不同生活型植物所构成的种对多数有着一定的正关联性。

以往的研究表明,种间出现正联结的原因主要有:1)相同或相似的生境适应范围;2)物种间存在依赖关系,一种依赖于另一种或两种相互依赖。种间出现负联结的原因主要是:1)不相似的环境适应范围;2)空间上的排斥或资源上的竞争;3)化学互感的作用(Greig-Smith, 1983; Kershaw & Looney, 1985; 宋永昌, 2001)。而塔里木河中下游荒漠河岸林群落中种间正关联的形成主要是一部分植物种具有相同或相

似的生态适应性,彼此间处于不同的生态位;而另一些植物种在一定的土壤水平和垂直空间范围内和在一定的时期内对水资源的需求产生了排斥性竞争。

4 小 结

21 个样地中纪录到的 16 种植物组成了荒漠河岸林群落的主体。群落垂直结构最多为乔、灌、草 3 层。具 3 层结构的有 4 个,具 2 层结构的有 10 个,仅具 1 层结构的有 7 个。16 种植物在 10 种不同面积尺度的 210 个样方中组成了 120 个种对。其中有 17 个种对表现出显著或极显著的种间联结,约占总

数的 14.2 %; 13 个种对为正关联, 4 个种对为负关联。塔里木河中下游荒漠河岸林群落种间正关联的形成主要是一部分植物种具有相同或相似的生态适应性, 彼此间处于不同的生态位; 而另一些植物种在一定的土壤水平和垂直空间范围内和在一定的时期内对水资源的需求产生了排斥性竞争。

取样面积对种间联结性测定的有效性有影响。不存在对样地内所有物种均有效的最适样方面积。塔里木河荒漠河岸林群落的种间联结性分析适宜在 $8\text{ m} \times 8\text{ m} \sim 30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 样方面积尺度内进行, 其结果有效性强。不同种对表现出种间联结的最小样方尺度不同, 荒漠河岸林不同种群之间发生作用的空间范围存在着差异。

随着样方面积的增大, 种间联结有各自不同的变化规律。据此概括为 4 种类型: 类型 I: 种对从最小样方尺度 ($2\text{ m} \times 2\text{ m}$) 到最大样方尺度 ($32\text{ m} \times 64\text{ m}$), 种间的显著关联表现出从有到无的循环变化。这类种对占总数的 17.6%; 类型 II: 种对的种间显著关联随着样方面积的增大, 表现出从无到有再到无的变化。这类种对占总数的 41.2%; 类型 III: 显著或极显著的种间关联出现在 $8\text{ m} \times 16\text{ m} \sim 32\text{ m} \times 64\text{ m}$ 的范围内。种间关联从无到有, 可能随着取样尺度的继续扩大, 种间关联会出现新的变化。这类种对占总数的 29.4%; 类型 IV: 随着样方尺度的扩大, 显著或极显著的种间关联从无到有, 再从无到有的循环变化。属于此类型种对占总数的 11.8%。

17 个具种间联结的种对以灌木-草本和草本-草本的种对居多, 占了总数的 76.5% 乔木树种胡杨与灌木之间、灌木和灌木之间是独立分布的。既使出现有关联的种对, 也常常表现出负关联的种间关系。乔木与草本植物之间, 灌木与草本植物之间, 以及草本与草本之间, 所构成的种对多数有着一定的正关联性。

参 考 文 献

Chen ZY (陈中义), Chen JK (陈家宽) (1999). The spatial pattern of *Ranaliama rostratum* population and interspecific association in the community. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 23, 56–61. (in Chinese with English abstract)

Dice LR (1945). Measures of the amount of ecologic association between two species. *Ecology*, 26, 297–302.

Du DL (杜道林), Liu YC (刘玉成), Li R (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 edn. Black-

well Scientific Publications, Oxford, 105–128.

Guo XY (郭相亿), Li YH (李裕红), Lin HP (林慧萍) (2001). Studies on the inter-specific association among main species of *Cyclocarya paliurus* community in Niumulin Natural Reserve. *Journal of Fujian College of Forestry* (福建林学院学报), 21, 181–185. (in Chinese with English abstract)

Guo ZH (郭志华), Zhuo ZD (卓正大), Chen J (陈洁), Wu MF (吴梅凤) (1997). Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 21, 424–432. (in Chinese with English abstract)

Jaccard P (1901). Etude comparative de al distribution florale dans une portion des Alpes et du Jura. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 37, 547–597.

Kershaw KA, Looney JH (1985). *Quantitative and Dynamic Plant Ecology* 3rd edn. Edward Arnold Limited, London, 78–94.

Li DZ (李德志), Qin AL (秦艾丽), Yang ML (杨茂林), Liu PF (刘鹏飞) (1996). Study on the interconnections among main tree populations in natural secondary forest communities. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 20, 263–271. (in Chinese with English abstract)

Li T (李涛), Yin LK (尹林克), Yan C (严成) (2003). Quantitative classification and ordination analysis on vegetation in the middle reaches of Tarim River. *Arid Land Geography* (干旱区地理), 26, 173–179. (in Chinese with English abstract)

Li XK (李先琨), Huang YQ (黄玉清), Su ZM (苏宗明) (1999). Preliminary studies on interconnections among the main tree populations of *Taxus chinensis* var. *mairei* community. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 18, 10–14. (in Chinese with English abstract)

Li XR (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)

Li ZH (李正海), Bao YJ (包雅静) (2000). Study on Changes of population pattern and interspecific relationship of *Caragana* in Inner Mongolia Steppe and desert region. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境), 14, 64–68. (in Chinese with English abstract)

Liu Q (刘庆), Bao WK (包维楷), Qiao YK (乔永康), Qian NB (钱能斌) (1996). Studies on the interspecific relationship among dominant species of the semi-arid valley scrubs in Moxian on the upper reaches of the Minjiang River. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2, 36–42. (in Chinese with English abstract)

Lu WD (卢纹岱) (2002). *SPSS for Windows* (社会科学统计程序). Electronic Industry Press, Beijing, 115. (in Chinese)

Peng SL (彭少麟), Wang BS (王伯荪) (1985). The measured technique of interspecific association of the lower subtropical evergreen-broadleaved forest. II. The sample technique. *Tropical and Subtropical Forest Ecosystem* (热带亚热带森林生态系统研究), 3, 167–173. (in Chinese with English abstract)

Song YC (宋永昌) (2001). *Vegetation Ecology* (植被生态学). East China Normal University Press, Shanghai, 353–417. (in Chinese)

Sun XG (孙学刚), Xiao W (肖雯), Jia HX (贾恢先) (1998). Investigation on the community structure, spatial pattern of popu-

- lation and interspecific association of *Tamarix hispida* saline desert in the middle reaches of Shule River. *Acta Prataculturae Sinica* (草业学报), 7 (2), 10 – 17. (in Chinese with English abstract)
- Sun WZ (孙伟中), Zhao SD (赵世洞) (1997). Distribution patterns of main tree species in *Titia broadleaf* Korean pine forest on northern slope of Changbai Mountains. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 7, 1 – 5. (in Chinese with English abstract)
- Wang BS (王伯荪), Peng SL (彭少麟) (1985). Studies on the measuring techniques of interspecific association of the lower sub-tropical evergreen-broadleaved forest. I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific assoocation. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学丛刊), 9, 274 – 285. (in Chinese with English abstract)
- Wang JH (汪建华), Li XG (李旭光) (2001). Study on the interconnections among main tree population in the evergreen broadleaf forest in Si mian Mountain, Chongqing. *Journal of Yuzhou University* (Natural Science Edition) (渝州大学学报 (自然科学版)), 18 (3), 58 – 62. (in Chinese with English abstract)
- Wang XR (王祥荣), Song YC (宋永昌) (1994). Interspecific correlation of evergreen broad-leaved in Tiantong National Forest Park of Zhejiang Province. *Chinese Journal of Ecology* (应用生态学报), 5, 113 – 119. (in Chinese with English abstract)
- Wu ZX (吴仲贤) (1993). *Biostatistics* (生物统计学). Beijing Agricultural University Press, Beijing, 393 – 395. (in Chinese)
- Zhang F (张峰), Shangguan TL (上官铁梁) (2000). Numerical analysis of interspecific relationships in an *Elaeagnus molls* community in Shanxi. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 24, 351 – 355. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SY (张思玉) (2001). Interspecific association of main tree populations in *Alsophila spinulosa* community. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 7, 335 – 339. (in Chinese with English abstract)
- Zhou XY (周先叶), Wang BS (王伯荪), LI MG (李鸣光), Zan QJ (咎启杰) (2000). An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve, Guangdong Prvince. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 24, 332 – 339. (in Chinese with English abstract)
- Zhou JL (周纪伦), Zheng SZ (郑师章), Yang C (扬持) (1992). *Plant Population Ecology* (植物种群生态学). Higher Education Press, Beijing, 96 – 115, 215 – 235. (in Chinese)

责任编辑: 董 鸣 责任编辑: 姜联合