

翅果油树 (*Elaeagnus mollis*) 群落的种间分离张殷波¹, 张 峰^{2*}

(1. 中国科学院植物研究所数量生态重点实验室, 北京 100093; 2. 山西大学生命科学与技术学院, 太原 030006)

摘要:在野外对山西翅果油树群落 31 个样方内所有基径 $\geq 1\text{cm}$ 的灌木绘制空间分布图, 应用最近邻体法判定每个个体的最近邻体植株, 然后采用 $N \times N$ 最近邻体列表及其截表 (2×2 最近邻体列表) 的方法, 研究翅果油树群落所有灌木的种间分离规律。结果表明: 该群落中随机毗邻种对占绝大多数 (80.94%), 正分离种对较少 (18.78%), 负分离种对极少 (0.28%)。呈负分离的极少数种对是一些个体较小的小灌木, 它们多为群落的伴生种, 具有相近的生境需求, 较激烈的种间竞争可能导致它们随机或均匀分布, 因此这些种对表现出负分离; 较大的个体之间容易发生正分离, 因为它们大多是群落的建群种或优势种, 具有强的适应能力和竞争能力。从星座图上可清晰地看到种间分离在不同种之间存在一定的差异。另外, 引入群落全面分离这一新概念, 并应用 χ^2 检验进行检验研究了翅果油树群落中所有物种的全面分离规律。结果表明, 翅果油树群落内 38 个物种互相交错分布, 是全面不分离的。

关键词:种间分离; 最近邻体法; $N \times N$ 列表; χ^2 检验; 星座图; 翅果油树

文章编号: 1000-0933(2006)03-0737-06 中图分类号: Q948.15 文献标识码: A

Interspecific segregation in *Elaeagnus mollis* communities

ZHANG Yin-Bo¹, ZHANG Feng^{2*} (1. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Science, Beijing 100093; 2. School of Life Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 737 ~ 742.

Abstract: *Elaeagnus mollis* is an endemic tree species in China and is ranked the second-class for protection of rare and endangered plants. It grows in a form of large shrub or dwarf tree and its distribution in China is restricted in Shanxi and Shaanxi provinces, and mostly in the south of Luiliang Mountains and west of Zhongtiao Mountains of Shanxi. Community of *E. mollis* is one of the typical vegetation types in the hills and lower-mountains of southern Shanxi.

Interspecific relationship is an important factor affecting community composition, structure, function and dynamics. In order to understand the role of interspecific segregation in *E. mollis* communities, we investigated 31 quadrats of *E. mollis* communities in field, and drew a distribution map for all shrubs whose basal diameter is greater than 1cm. The nearest neighbors of each individual were obtained by using the nearest neighbor's method. The interspecific segregation was studied with an $N \times N$ nearest-neighbor contingency table and a 2×2 nearest-neighbor contingency sub-table.

The result of interspecific segregation indicated that most of the species-pairs are randomly segregated (80.94%), some species-pairs are positively segregated (18.78%), and only a few species-pairs are negatively segregated (0.28%). Negative segregation may occur between a few dwarf shrubs that have similar habitat requirements, which are mostly companion species in communities. Intensive interspecific competition may result in random or uniform distribution, therefore, such species-pairs are apt to be negatively segregated. Large individuals that are dominant or constructive species in communities tend to be positively segregated with other large arbors, due to their strong capacity in adaptation and competition. The constellation diagrams showed

基金项目: 山西省留学基金资助项目 (960024)

收稿日期: 2005-05-30; 修订日期: 2005-10-20

作者简介: 张殷波 (1979-), 女, 山西人, 博士生, 主要从事数量生态学和植物生态学研究. E-mail: ybzhang@ibcas.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: fzhang@sxu.edu.cn

Foundation item: The project was supported by the Fund of Study Abroad in Shanxi (960024)

Received date: 2005-05-30; Accepted date: 2005-10-20

Biography: ZHANG Yin-Bo, Ph. D. candidate, mainly engaged in quantitative ecology. E-mail: ybzhang@ibcas.ac.cn

clearly the difference of interspecific segregation among the various species.

In addition, we introduced a new concept—the overall segregation. The overall segregated pattern in all species in the communities was studied by χ^2 test based on the $N \times N$ nearest-neighbor contingency table. The result showed that 38 species in study overlap in distribution and are characterized by overall non-segregation.

Key words: interspecific segregation; nearest-neighbor's analysis; $N \times N$ nearest-neighbor contingency table; χ^2 -test; constellation diagram; *Elaeagnus mollis*

一个群落中共存的多个植物物种相互之间必然发生的这样或那样的关系,这被称作种间亲和性(affinity)。亲和性的大小通常可以用种间关联(interspecific association)、种间分离(interspecific segregation)和生态位宽度、重叠程度来表述。通过对群落种间关系的研究,有效地反映各物种在群落中的分布情况,物种在某种特定环境下的种间相互关系,以及各物种对生态因子的适应程度,从而为分析群落的结构、类型及群落的演替提供科学依据^[1]。

种间分离这一概念是 Pielou 首先提出来的,它是用来描述两个种或几个种的个体交错分布的程度^[2]。在很大程度上,它与种间关联或相关相联系。但它又不同于种间关联,它是以第 1 个种的个体与第 2 个种个体的邻体关系为基础的。而且有人还认为它是独立于种的分布格局的一种种间关系^[3]。种间分离可以是正分离(种 A 个体罕与种 B 个体毗邻)、负分离(种 A 个体常与种 B 个体毗邻)或者两者都不是(随机毗邻)。这种分离程度可以通过计算分离指数来表示其大小。分离指数是基于两个种的最近邻体关系之上的,两个种的最近邻体关系(nearest neighbor relationship)有 4 种情况:种 A 个体的最近邻体是种 A 的个体;种 A 个体的最近邻体是种 B 的个体;种 B 个体的最近邻体是种 A 的个体;种 B 个体的最近邻体是种 B 的个体。

国内有关种间关系的研究主要是种间关联,种间分离很少报道,仅见戴小华等对海南岛霸王岭热带雨林进行过种间分离的研究^[4],他们将种间分离与分布格局之间的关系进行了分析。国外的相关研究有对同种个体的母-幼树之间^[5]或雌-雄株之间^[6]的种间分离研究,但是对于多物种群落却研究的较少。种间分离的研究对于揭示种间相互作用、群落组成与动态具有重要意义。

翅果油树(*Elaeagnus mollis*)是我国二级珍稀濒危保护植物,仅分布于山西和陕西两省,尤以山西吕梁山南端和中条山西段分布较为集中。在对翅果油树群落的地理分布与生态环境关系^[7]、群落种间关系的分析^[8]、群落优势种群分布格局的研究^[9]、群落多样性研究^[10]以及翅果油树濒危原因分析^[11]等研究的基础上,本章采用最近邻体法及其 $N \times N$ 最近邻体列联表及其截表的方法,通过计算种间分离指数,研究了山西翅果油树群落种对间的分离规律,并且结合其群落类型对分离规律进行分析。此外,还提出应用 χ^2 检验研究群落所有物种全面分离规律的新方法。

1 研究方法

1.1 生态地理环境

翅果油树是我国特有种,为大灌木或小乔木。它对环境条件要求不高,多生长在黄土丘陵的沟壑和低山区,以阳坡、半阳坡较为集中,海拔为 780 ~ 1400m。

翅果油树在山西的自然分布区位于吕梁山南端和中条山西段的低山丘陵区,约当 110°36' ~ 111°56' E, 34°52' ~ 36°05' N,以翅果油树为建群种形成的群落,是山西南部暖温带落叶阔叶林地带低山丘陵区的代表植被类型之一。翅果油树在我国的分布区属于暖温带半湿润气候区,植被区划属于南暖温带落叶阔叶林亚地带。区内年平均气温 8 ~ 12℃,无霜期为 160 ~ 180d,年降雨量为 450 ~ 550mm,6 ~ 9 月份降水量占全年 75% 左右。土壤类型有山地褐土和黄土母质上发育的褐土性土^[8-11]。

1.2 取样

2002 年 7 月在山西翼城县、乡宁县、平陆县等地进行了取样,共取得了 31 个样方(5m × 5m),记录每个样方内所有灌木(基径 ≥ 1cm)的树号、种名、基径、树高、坐标(X, Y)。

在绘制样方中基径 ≥ 1cm 的灌木分布图时,首先固定某一植株为基株,然后测量基株与其附近所有个体的距离,最后根据每一植株的坐标在坐标图上绘制成灌木的分布图。

1.3 数据分析方法

在调查的 31 个样方中,共记录了 38 种物种,891 个植株,703 个种对。在分布图中把每一个植株分别定为基株,应用最近邻体法判定每一个个体的最近邻体植株并确定其种名。

1.3.1 $N \times N$ 最近邻体列联表 Pielou 最早提出种间分离的分离指数 (coefficient of segregation) 计算公式 (S) 时,构建了一个两两物种之间的 2×2 列联表^[2] (表 1)。de Jong 等在对草本群落进行中间关联研究时,采用了 $N \times N$ 列联表及其截取方法 (Subtable method)^[12]。为了研究多物种的群落的种间分离,并且基株包括样方中出现的所有个体,并非随机选取,将 Pielou 的 2×2 最近邻体列联表进行扩展,从而得到一个 $N \times N$ 最近邻体列联表 (表 2),在进行计算时再进行截取 (表 3)。

表 1 2×2 最近邻体列联表

Table 1 2×2 nearest-neighbor contingency table

		基础植物 Base plant		
		种 A	种 B	
最近邻体植物	种 A	f_{AA}	f_{BA}	$f_{AA} + f_{BA}$
	种 B	f_{AB}	f_{BB}	$f_{AB} + f_{BB}$
		$f_{AA} + f_{AB}$	$f_{BA} + f_{BB}$	$N = f_{AA} + f_{AB} + f_{BA} + f_{BB}$

f_{AA} : 种 A 个体的最近邻体是种 A 的个体的频率 The number of species A whose nearest neighbor is species A; f_{BA} : 种 B 个体的最近邻体是种 A 的个体的频率 The number of species B whose nearest neighbor is species A; f_{AB} : 种 A 个体的最近邻体是种 B 的个体的频率 The number of species A whose nearest neighbor is species B; f_{BB} : 种 B 个体的最近邻体是种 B 个体的频率 The number of species B whose nearest neighbor is species B; N : 种 A 和种 B 个体之和 The total number of both species A and species B

1.3.2 最近邻体 2×2 列联表的构造 为了计算方便,截取上述 $N \times N$ 列联表,得到关于种 i 和种 j 的 2×2 列联截表 (表 3)。

1.3.3 种间分离指数 在计算分离指数时,Pielou 认为 2×2 列联表中的数据可以用普通的 χ^2 检验 ($df = 1$) 去检验 f_{AB} 和 f_{BA} 关系是否显著地低于随机期望值,从而提出了一个分离指数的计算公式^[2]:

$$S = 1 - \frac{N_{ij}(n_{ij} + n_{ji})}{(n_{ii} + n_{ij})(n_{ij} + n_{jj}) + (n_{ji} + n_{jj})(n_{ii} + n_{ji})} = \frac{2(n_{ii}n_{jj} - n_{ij}n_{ji})}{(n_{ii} + n_{ij})(n_{ij} + n_{jj}) + (n_{ji} + n_{jj})(n_{ii} + n_{ji})} \quad (1)$$

de Jong 等在对草本群落的种间关联分析时,采用 $N \times N$ 列联表及其截取方法,也认为普通的 χ^2 检验是有效的^[13]。这里,采用了 Pielou 的分离指数来计算种间的分离程度。

分离指数 S 的值变化于 -1 和 $+1$ 之间,当 $n_{ii} = n_{jj} = 0$ 并且 $n_{ij} = n_{ji} \neq 0$ 时,也就是说不存在同种毗邻时, S 达到最小值 -1 ,两个物种发生最大可能的负分离;当 $n_{ij} = n_{ji} = 0$ 并且 $n_{ii} = n_{jj} \neq 0$ 时,也就是说两个物种不存在相互毗邻, S 达到最大值 $+1$,两个物种发生最大可能的正分离;当 $n_{ii}n_{jj} = n_{ij}n_{ji}$ 时, $S = 0$,两个物种完全随机毗邻。但是 Pielou 并未给出 S 的统计检验方法^[13]。在分离指数计算公式中,如果遇到 n_{ij} 值等于 0,给这些 n_{ij} 加权 0.001,这样做既可以防止公式(1)中出现 0 分母,而且更接近自然状态。另外,在没有找到合适的显著性检验方法之前,戴小华等在种间分离研究过程中对 S 值做了更具体的区间划分,即规定:当 $0.7 \leq S \leq 1$ 时两个物种为正分离,当 $-1 \leq S \leq -0.7$ 时为负分离即两个物种倾向于彼此为邻,当 $-0.7 < S < 0.7$ 时为既非正

表 2 $N \times N$ 最近邻体列联表

Table 2 $N \times N$ nearest-neighbor contingency table

基株 Base plant	最近邻体 Nearest neighbor					总计 Total
	种 1 S_1	种 2 S_2	种 3 S_3	...	种 k S_k	
种 1 S_1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	...	n_{1k}	f_1
种 2 S_2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	...	n_{2k}	f_2
...
种 k S_k	n_{k1}	n_{k2}	n_{k3}	...	n_{kk}	f_k
总计 Total	S_1	S_2	S_3	...	S_k	N

K : 样地中总物种数 The number of species in the plots; n_{ij} : 种 i 个体的最近邻体是种 j 的个体时的数目 The individual number of species i whose nearest neighbor is an individual of species j ; N : 样方内所有个体的总和 The number of all the individuals; f_i : 种 i 的个体数 The individuals number of species i ; S_i : 以种 i 为最近邻体的个体数 The individual number of species i as nearest neighbor plants

表 3 2×2 最近邻体列联截表

Table 3 2×2 nearest-neighbor contingency sub-table

基株 Base plant	最近邻体 Nearest neighbor		总计 Total
	种 i Species S_i	种 j Species S_j	
种 i Species S_i	n_{ii}	n_{ij}	$n_{ii} + n_{ij}$
种 j Species S_j	n_{ji}	n_{jj}	$n_{ji} + n_{jj}$
总计 Total	$n_{ii} + n_{ji}$	$n_{ij} + n_{jj}$	$N_{ij} = n_{ii} + n_{ij} + n_{ji} + n_{jj}$

字母含义同上 The meanings of letters as above

分离也非负分离的随机毗邻种对^[4]。在此引用了该种区间划分方法,原因有二:一是在没有合适的显著性检验方法之前这是一种折中的简易办法;二是这种区间划分方法在研究热带雨林时对象包括乔木和灌木。当然,也认识到该种划分方法比较主观,有待于进一步研究。

1.3.4 $N \times N$ 种对间的全面分离指数 以上的研究只是针对群落内两两物种之间的分离分析,并没有给出一个群落中所有物种之间的分离状态。在分析两两物种的分离规律后,提出了群落中所有物种间的分离会是怎么样的这样一个新问题。为了检验 $N \times N$ 种对的分离情况,提出一种涉及多物种的检验方法——应用 χ^2 检验对 $N \times N$ 最近邻体列联表进行分析,以便判断所有种对之间的分离规律。这种方法是否有效和适用,还有待于更多研究工作的检验。

(1) 建立假设: H_0 为所有种对全面分离; H_A 为所有种对不是全面分离。

(2) $N \times N$ 最近邻体列联表的 χ^2 检验,计算公式为:

$$T_{ij} = \frac{T_i \times S_j}{T} \quad (2)$$

$$\chi^2 = \sum_i^k \sum_j^k \frac{(n_{ij} - T_{ij})^2}{T_{ij}} \quad (3)$$

如果 $\chi^2 > \chi_{0.05}^2$, 拒绝 H_0 , 接受 H_A , 认为所有种对不是全面分离的。如果 $\chi^2 < \chi_{0.05}^2$, 接受 H_0 , 拒绝 H_A , 则认为所有种对是全面分离。

2 结果

2.1 两两物种的分离情况

种间分离的结果可用星座图(图 1)来表示,实线代表正分离,虚线代表负分离;如果没有实线或者虚线,则表示随机毗邻。由于本研究的对象为灌木群落,物种之间的平均基径大小差别不大,所以没有对物种进行基径等级的划分,在图中没有标出各物种平均基径大小的差异。

在 31 个样方内所有基径 ≥ 1 cm 的灌木,共计 38 个物种,703 个种对。其中,群落的优势种为翅果油树、虎榛子、黄栌、陕西荚蒾和黄刺玫等。对 38 个物种进行两两比较,计算各种对的分离指数并且用区间划分进行统计,得到结果:该群落中随机毗邻的种对占大多数(80.94%),正分离种对较少(18.78%),负分离种对极少(0.28%)(表 4)。

由图 1 可见,种间分离在不同种之间存在一定差异。大多数物种如翅果油树、虎榛子、黄栌、陕西荚蒾等不与其它物种形成负分离;少数物种如六道木、二色胡枝子、葱皮忍冬、琉璃枝等不与其它物种发生正分离,而有些物种如三裂绣线菊、土庄绣线菊、少脉雀梅藤等仅与其它物种随机毗邻。例如,负分离的两个

种六道木和二色胡枝子,毗邻另一种的个体远较毗邻同种的多;正分离的种对陕西荚蒾和黄刺玫,毗邻另一种的个体远较毗邻同种的少;随机毗邻的种对虎榛子和三裂绣线菊,其毗邻关系则比较复杂,是不确定的。结合翅果油树的群落类型来分析,发生正分离的物种大多数是群落的优势种或建群种,它们的个体相对比较大,盖度高,对生境的适应性和竞争能力比较强,因此容易形成正分离。发生负分离的物种常是群落中的一些伴生种,相对个体较小,盖度低,具有相似的生境需求,较激烈的种内和种间竞争使它们互相交错分布来充分利用资源,因此表现为负分离。

2.2 所有种对之间的全面分离

对 38×38 列联表进行 χ^2 检验,结果为: $\chi^2 = 4784.6.6$ $df = 37 \times 37 = 1369$

由于现有的统计手册^[14]中,最大的 $df = 45$,因此用它与计算的 χ^2 值进行比较,来判断 38 个物种之间是否存在全面分离。

表 4 翅果油树群落 38 个物种种间分离类型的比例

Table 4 Proportion for various kinds of interspecific segregation of 38 species in *Elaeagnus mollis* communities

正分离 Positive segregation	负分离 Negative segregation	随机毗邻 Random segregation
132 对	2 对	569 对
18.78%	0.28%	80.94%

当 $df = 45$, $\chi_{0.05}^2 = 61.65$, $\chi_{0.01}^2 = 69.96$, 因此, $\chi^2 \gg \chi_{0.01}^2$

所以拒绝 H_0 , 接受 H_A , 认为所有种对不是全面分离的。也就是说, 所研究的 38 个物种互相交错分布, 是全面不分离的状态, 从而给出群落的总体分离情况是全面不分离的。

3 讨论

种间关系在群落生态学中占有重要位置, 通过对种间关系的研究, 能够客观地反映不同物种在空间上的相互关系, 全面了解群落种类组成间相互依存和相互制约的复杂关系。种间分离和种间关联都是种间关系的研究对象, 都用来研究两个物种的空间分布关系, 表现不同物种在空间上相互吸引或排斥的性质。但是, 两者既有联系又有区别。种间关联或种间联结是不同物种在空间分布上的相互关联性, 它的测定以样方为基础, 受样方大小和间隔的影响比较大, 也就是说种间关联程度与空间尺度有密切关系^[15]; 种间分离是不同物种个体在空间上交错分布的程度, 它的测定以两个个体的邻体关系为基础, 即以距离为基础, 因此分离程度不受样方大小和间隔的限制, 可以更准确地反映群落中各物种之间的空间关系。

种间分离与群落的演替过程密切相关。在群落演替的早期, 负分离或者是正分离现象比较多。负分离可能是由于不同植物的种子传播在一起形成, 正分离则可能是因为或者种子散播在母树附近而导致同种植物呈聚集分布。随着群落的发展, 种内和种间竞争以及自然稀疏作用将导致种间分离的减少。如果这种作用发生在单种丛, 正分离将减少; 如果发生于异种丛, 负分离将减少^[16]。到了成熟群落阶段, 种间关系已趋于稳定, 负分离现象将变得极少^[17]。山西翅果油树群落中, 随机毗邻种对占优势, 正分离种对较少, 负分离种对极少。因为翅果油树群落已经发展到比较稳定的阶段, 因此种间关系趋于相对稳定, 负分离种对出现的非常少, 这与 Pielou^[17] 的结果基本一致。

研究表明, 许多具有相近生境需求的物种(如小灌木)存在负分离, 较激烈的种间竞争可能导致随机或均匀分布从而表现为负分离状态。研究也发现, 大灌木之间容易发生正分离, 可能是因为生境异质性、种内竞争占优势, 因此在一个小的生境下不可能同时容纳两个大的个体。

研究种间分离的方法主要有最近邻体列联表^[2]、最近邻体距离法^[18]和 $K(t)$ 方程法^[19] 等。但对于多物种群落的研究, $N \times N$ 最近邻体列联表及其截表法在研究其最近邻体关系时更为方便、快捷和准确。而且, 把样方中所有的植株都定义为基株研究其邻体种对, 因此比较真实地反映了自然环境下种间空间分离关系。另外, 在对 $N \times N$ 最近邻体列联表的统计检验过程中, 尝试着采用 χ^2 检验并提出了全面不分离的这一新概念,

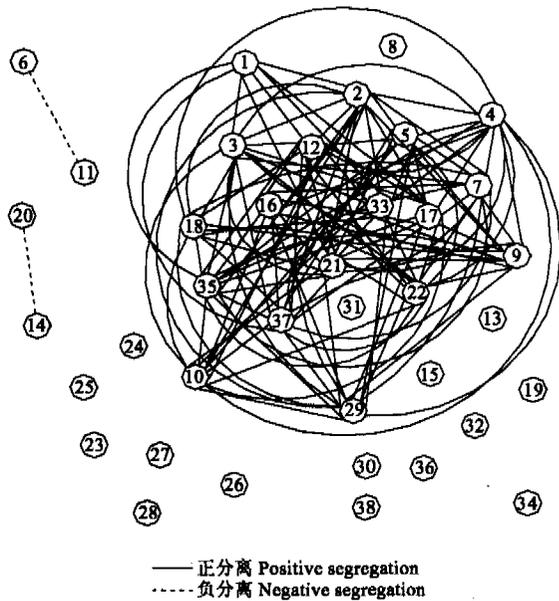


图 1 翅果油树群落 38 个物种的种间分离星座图

Fig. 1 Constellation diagrams of interspecific segregation of 38 species with $DH \geq 1\text{cm}$ in *Elaeagnus mollis* communities

图 1 中数字代表的植物名称 The name of plants with different numbers in Fig. 1 are as follows:

- ①翅果油树 *Elaeagnus mollis*; ②虎榛子 *Ostryopsis davidiana*; ③黄栌 *Cotinus coggygia* var. *pubescens*; ④陕西莢蒾 *Viburnum schensianum*; ⑤黄刺玫 *Rosa xanthina*; ⑥六道木 *Abelia biflora*; ⑦辽东栎 *Quercus liaotungensis*; ⑧三裂绣线菊 *Spiraea trilobata*; ⑨灰栒子 *Cotoneaster acutifolius*; ⑩连翘 *Forsythia suspense*; ⑪二色胡枝子 *Lespedeza bicolor*; ⑫北京丁香 *Syringa pekinensis*; ⑬土庄绣线菊 *Spiraea pubescens*; ⑭葱皮忍冬 *Lonicera chrysantha*; ⑮少脉雀梅藤 *Sageretia paucicostata*; ⑯荆条 *Vitex negundo* var. *heterophylla*; ⑰小叶鼠李 *Rhamnus parvifolia*; ⑱白刺花 *Sophora vicifolia*; ⑲多花胡枝子 *Lespedeza floribunda*; ⑳琉璃枝 *Cynolossus zeylanicum*; ㉑大叶朴 *Celtis koraiensis*; ㉒酸枣 *Zizyphus jujuba* var. *spinosa*; ㉓河朔堯花 *Wikstroemia chamaedaphne*; ㉔构树 *Broussonetia papyrifera*; ㉕桑 *Morus alba*; ㉖悬钩子 *Rubus* sp.; ㉗山榆(幼苗) *Ulmus pumila*; ㉘山桃 *Prunus davidiana*; ㉙杠柳 *Periploca sepium*; ㉚山荆子 *Malus baccata*; ㉛金银忍冬 *Lonicera maackii*; ㉜小叶鹅耳枥 *Carpinus turczanowii* var. *stipulata*; ㉝小檗 *Berberis* sp.; ㉞牛奶子 *Elaeagnus umbellate*; ㉟小叶锦鸡儿 *Caragana microphylla*; ㊱山杏 *Armeniaca vulgaris* var. *ansu*; ㊲多花栒子木 *Cotoneaster multiflorus*; ㊳侧柏 *Platycladus orientalis*

从而得到了一个所有种对的总体分离情况,这个概念的研究意义及应用前景将有待于各位生态学家进行进一步探讨。

References:

- [1] Zhang J T. *The methods for quantitative vegetation ecology*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995. 87 ~ 89.
- [2] Pielou E C. Segregation and symmetry in two-species populations as studied by nearest neighbor relations. *Journal of Ecology*, 1961, 49: 255 ~ 269.
- [3] Greig-Smith P. *Quantitative plant ecology 3rd ed.* Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1983. 19 ~ 128.
- [4] Dai X H, Yu S X, Lian J Y. Interspecific segregation in a tropical rain forest at Bawangling Nature Reserve, Hainan Island. *Acta Phytocologica Sinica*, 2003, 27: 380 ~ 387.
- [5] Hamill D N, Wright S J. Testing the dispersion of juveniles relative to adults: a new analytic method. *Ecology*, 1986, 67: 952 ~ 957.
- [6] Bawa K S, Opler P A. Spatial relationship between staminate and pistillate plants of dioecious tropic forest trees. *Evolution*, 1977, 31: 64 ~ 68.
- [7] Zhang F, Han S Q, Shangguan T L. Analysis on relationship between geographic distribution of *Elaeagnus mollis* and eco-environment factors in China. *Journal of Shanxi University (Nat. Sci. Ed.)*, 2001, 24: 86 ~ 88.
- [8] Zhang F, Shangguan T L. Numerical analysis on interspecific relationships in an *Elaeagnus mollis* community in Shanxi. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24: 351 ~ 355.
- [9] Zhang F, Shangguan T L. Population patterns of dominant species in *Elaeagnus mollis* communities, Shanxi. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24: 590 ~ 594.
- [10] Zhang F, Shangguan T L. Study on the species diversity of *Elaeagnus mollis* community in Shanxi. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23: 471 ~ 474.
- [11] Shangguan T L, Zhang F. The endangered causes of *Elaeagnus mollis*, an endemic to China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21: 502 ~ 505.
- [12] de Jong P, Aarssen L W, Turkington L. The use of contact sampling in studies of association in vegetation. *Journal of Ecology*, 1983, 71: 545 ~ 559.
- [13] Reich R M, Davis R. *Quantitative spatial analysis*. Fort Collins: Colorado State University, 1998. 1 ~ 420.
- [14] Mao S S. *Statistics handbook*. Beijing: Science Press, 2003. 1068.
- [15] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern for plant species. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22: 344 ~ 349.
- [16] Pielou E C. *An introduction to mathematical ecology*. New York: John Wiley & Sons, 1969. 82 ~ 212.
- [17] Pielou E C. *Mathematical ecology*. New York: John Wiley & sons, 1977. 1 ~ 385.
- [18] Diggle P J. *Statistical analysis of spatial point pattern*. London: Academic press, 1983. 1 ~ 148.
- [19] Ripley B D. *Spatial statistics*. New York: Wiley, 1981.

参考文献:

- [1] 张金屯. 植被数量生态学. 北京: 中国科技出版社, 1995. 87 ~ 89.
- [4] 戴小华, 余世孝, 练璐菴. 海南岛霸王岭热带雨林的种间分离. *植物生态学报*, 2003, 27(3): 380 ~ 387.
- [7] 张峰, 韩书权, 上官铁梁. 翅果油树的地理分布与生态环境关系分析. *山西大学学报(自然科学版)*, 2001, 24(1): 86 ~ 88.
- [8] 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 351 ~ 355.
- [9] 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落优势种群分布格局研究. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 590 ~ 594.
- [10] 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落的多样性研究. *植物生态学报*, 1999, 23(5): 471 ~ 474.
- [11] 上官铁梁, 张峰. 我国特有珍稀植物翅果油树濒危原因分析. *生态学报*, 2001, 21(3): 502 ~ 505.
- [14] 茆诗松. *统计手册*. 北京: 科学出版社, 2003. 1068.
- [15] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析. *植物生态学报*, 1998, 22(4): 344 ~ 349.