

历山山核桃 (*Juglans mandshurica*) 群落的种间分离

高 昆^{1,3}, 张 峰^{1,2,*}

(1. 山西大学 黄土高原研究所, 太原 030006; 2. 山西大学 生命科学与技术学院, 山西 太原 030006; 3. 山西大同大学, 山西大同, 037009)

摘要:在野外样方调查的基础上,对山西历山山核桃群落 35 个样方内所有基径 $\geq 1\text{cm}$ 的乔木和灌木绘制分布图。按照最近邻体法判定每个个体的最近邻体植株,然后用 $N \times N$ 最近邻体列联表及其 2×2 列联表截表的方法,应用 Pielou 的分离指数 S 和 χ^2 检验研究山核桃群落所有乔木和灌木的种间分离规律。 χ^2 检验结果表明:历山山核桃群落出现的 25 个物种共构成的 300 个种对中,存在显著分离的有 294 对,存在不显著分离的有 6 对。结合 χ^2 值对 S 进行区间划分得出:正分离的 112 对占 37.34%,负分离的 28 对,占 9.33%;随机毗邻 160 对,占 53.33%。负分离多出现在群落的优势种和一些伴生种之间,如山核桃、连翘与金花忍冬、灰栒子,伴生种相对个体少,盖度低,与优势种具有相似的生态要求,较激烈的竞争使得它们相互交错分布,充分利用资源,呈现负分离。较大的植株之间容易发生正分离,如茶条槭和杜梨,因为它们多是群落的建群种或优势种,具有较强的适应力和竞争力。从星座图上可清晰地看到种间分离在不同物种间存在一定差异。 25×25 最近邻体列联表的 χ^2 检验结果表明:山核桃群落内 25 个物种是互相交错分布,全面不分离的。此外,种间分离的结果意味着该群落处于演替初期,与目前这一地区受人为和自然干扰严重,群落处于不稳定阶段的事实相符。

关键词:种间分离;最近邻体法; $N \times N$ 最近邻体列联表; χ^2 检验;星座图;山核桃;历山

文章编号:1000-0933(2008)04-1601-07 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Interspecific segregation in *Juglans mandshurica* communities in Lishan Mountain, Shanxi Province

GAO Kun^{1,3}, ZHANG Feng^{1,2,*}

1 Institute of Loess Plateau, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

2 School of Life Science and Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China

3 Shanxi Datong University, Datong 037009, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1601 ~ 1607.

Abstract: Lishan Mountain, belonging to Zhongtiao Mountains, is situated in $35^{\circ}16'30''$ – $35^{\circ}27'20''\text{N}$, $111^{\circ}51'10''$ – $112^{\circ}05'35''\text{E}$ in the southern Shanxi. It has a typical warm-temperate continental climate with abundant plant resources and high biodiversity. As an endemic to China, *Juglans mandshurica* is ranked the national third-class for protection of rare and endangered plants. Due to its multiple economic value, the species is shrinking and seriously influenced by human activities.

Interspecific segregation refers to extent of mosaic distributing among species, which is important to characterize community composition, structure and dynamics. In order to explore the pattern of the interspecific segregation in *J.*

基金项目:山西省自然科学基金资助项目(2006011077);山西省留学基金资助项目(2006)

收稿日期:2007-01-10;修订日期:2007-12-14

作者简介:高昆(1970~),女,山西大同人,硕士生,主要从事植物生态学研究. E-mail:gaokunnew@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:fzhang@sxu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Shanxi Natural Science Foundation (No. 200611077) and Shanxi Provincial Scholarship Foundation

Received date: 2007-01-10; **Accepted date:** 2007-12-14

Biography: GAO Kun, Master candidate, mainly engaged in plant ecology. E-mail:gaokunnew@yahoo.com.cn

mandshurica communities, 35 quadrats were investigated in the field, and a distribution map was drawn for all trees and shrubs with an equal to or bigger than 1 cm basal diameter. The nearest neighbors of each individual were identified by using nearest neighbor method. The interspecific segregation for all species in these communities was studied by using χ^2 -test (including Fisher's exact test for 2×2 contingency table), an $N \times N$ nearest-neighbor contingency table and a 2×2 nearest-neighbor contingency sub-table.

The results of χ^2 -test showed that there were 294 species-pair being significant segregation ($P < 0.05$) and 6 species-pair being insignificant segregation ($P > 0.05$). Based on χ^2 value to divide S , the interspecific segregation result indicated that there were 112 species-pair positive segregation, 28 species-pair negative and 160 species-pair random segregation accounting for 37.34%, 9.33%, and 53.33% respectively. Negative segregation appeared between dominant species and companioning species in the communities and companioning species had fewer individuals, lower coverage and similar habitat requirements with dominant species. Intensive interspecific competition resulted in mosaic distribution and fully exploiting competition for resources in species such as *J. mandshurica*, *Forsythia suspensa* and *Rhamnus davurica*, *Cotoneaster acutifolius*. Therefore, they were apt to be negative segregation. The larger individuals being constructive or dominant species in the communities tended to be positive segregation with the other large trees and shrubs, due to their stronger capacity of adaptation and competition, such as *Acer ginnala* and *Pyrus betulifolia*. The constellation diagrams showed clearly the difference of interspecific segregation among the various species.

The result of χ^2 test for $N \times N$ nearest-neighbor contingency table indicated that 25 species in the communities were mosaic distribution and overall non-segregation.

In addition, the results of species segregation suggested that the *Juglans mandshurica* communities in Lishan Mountain were in the early stage of succession, which was consistent with the fact that the communities were unstable due to the seriously disturbance of natural and human activities.

Key Words: interspecific segregation; nearest-neighbor's method; $N \times N$ nearest-neighbor contingency table; χ^2 -test; constellation diagram; *Juglans mandshurica*; Lishan Mountain

种间分离是指种间个体交错分布的程度,它以两个物种个体的邻体关系为基础^[1]。在很大程度上种间分离与种间关联或相关有联系。种间分离与种间、种内相互作用的关系密切,反映了两个物种相互混杂的程度。物种间相互混杂程度越小,种间分离程度就越大,如果两个物种是随机混合的,则认为它们不分离;如果两个物种倾向于独立成丛,同种混杂多于异种混杂,种对发生正分离;如果它们倾向于彼此混杂,异种混杂远多于同种混杂,种对发生负分离^[1],种间分离的研究对于揭示群落物种间相互作用、群落组成与动态具有重要意义。目前国内外有关种间分离研究较少,相关研究有对同种个体的母-幼树之间^[2]或雌-雄株之间^[3]的种间分离研究,但对多物种群落内物种间的分离研究较少^[4,5]。

山核桃又名核桃楸(*Juglans mandshurica*),我国特有植物,为落叶乔木,由于它是多用途经济树种,人类活动破坏严重,种群数量日渐减少,处于濒危状态,但迄今为止相关的研究报道很少^[6]。为此,本文以山西历山分布的山核桃群落为对象,采用最近邻体法和 $N \times N$ 最近邻体列联表及其 2×2 截表的方法,应用 Pielou 分离指数和 χ^2 检验研究山核桃群落内物种间的分离规律,同时应用 χ^2 检验对群落所有物种的全面分离规律进行了研究,这对于了解山核桃群落中物种间相互关系以及群落的发展动态,保护山核桃资源具有一定的科学意义。

1 生态地理环境

山核桃在山西集中分布于太岳山区的古县、霍州,太行山区的陵川、黎城,中条山区的沁水、翼城,吕梁山等地也有零星分布。生长于海拔 800 ~ 1500m,排水良好的沟谷及山坡下部的杂木林或针阔混交林中。

本文研究的山核桃群落位于山西历山西峡河漫滩和猪尾沟,地理坐标约为 $111^{\circ}51'10'' \sim 112^{\circ}05'35''$ E,

35°16'30" ~ 35° 27' 20" N, 历山最高峰舜王坪海拔 2 358m。其植物资源丰富,生物多样性较高^[7~9],国家级自然保护区——历山自然保护区就位于该山腹地。

历山属暖温带大陆性季风气候。年平均气温 8 ~ 12℃, ≥10°的年积温为 4 160.4℃, 7 月份均温 26.1℃, 1 月份均温 -0.8℃, 无霜期 180 ~ 200d, 年降水量 600 ~ 800mm。历山的成土母质以结晶岩、变质岩和石灰岩为主, 土壤类型自高往低垂直带谱为山地草甸土、棕色森林土、山地淋溶褐土和山地褐土^[10]。

植被区划上, 历山属于暖温带落叶阔叶林地带^[10,11], 地形复杂, 水热资源丰富, 植被覆盖率较高, 主要植被类型有侧柏(*Platycladus orientalis*)林、油松(*Pinus tabulaeformis*)林、栓皮栎(*Quercus variabilis*)林、华山松(*P. armandii*)林、辽东栎(*Q. liaotungensis*)林、白桦(*Betula platyphylla*)林、荆条(*Vitex negundo* var. *heterophylla*)灌丛、黄刺玫(*Rosa xanthina*)灌丛、连翘(*Forsythia suspensa*)灌丛、六道木(*Abelia biflora*)灌丛、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)灌丛、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)草丛、苔草(*Carex* spp.)草甸和五花草甸等^[12~14]。

2 研究方法

2.1 取样

2006 年 5 月在历山西峡和猪尾沟进行野外调查, 样方面积 10m × 10m, 共调查记录 35 个样方。记录指标包括每个样方内所有乔木和灌木(基径 ≥ 1cm)的种名、编号、基径、树高、坐标(X, Y), 木本植物和草本植物的盖度和高度, 以及群落总盖度、乔木层盖度、灌木层盖度和草本层盖度等。共记录了 25 种木本植物, 727 个植株。

作样方中基径 ≥ 1cm 的乔木和灌木分布图时, 首先固定某一个植株为基株, 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绘制它们的分布图。

2.2 数据分析

记录的 25 个物种, 构成 300 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。

2.2.1 构造 $N \times N$ 最近邻体列联表和截取 2×2 最近邻体列联表

Reich 和 Davis^[15]介绍了用于计算多物种群落总体分离的 $N \times N$ 最近邻体列联表, 但基株是随机选取的, 并非全体取样。而 Pielou^[1]的 2×2 最近邻体列联表中, 基株涵盖了群落的所有个体, 为了研究多物种群落的种间分离, 并且基株包含样方中记录的所有个体, 将 Pielou 的 2×2 最近邻体列联表进行扩展, 就可以得到一个 $N \times N$ 最近邻体列联表(表 1)^[4]。在计算两种间的分离指数时再进行截取, 就可以得到两个种间的 2×2 最近邻体列联表(表 2)。

表 1 $N \times N$ 最近邻体列联表

Table 1 $N \times N$ 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 的个体的数目 The 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 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

2.2.2 χ^2 检验

两个物种是否存在分离, 应用 2×2 列联表的 χ^2 检验(经过连续性矫正)来判断:

表 2 2 × 2 最近邻体列联表
Table 2 2 × 2 nearest-neighbor contingency sub-table

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

* 字母含义同上 The meanings of alphabetes as above

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(|Q_i - T_i| - 0.5)^2}{T_i^2} \quad df = 1 \quad (1)$$

式中, O_i 为 n_i 实测值, T_i 为 n_i 的理论值。

当 n_{ii}, n_{ij}, n_{ji} 和 n_{jj} 中的任意一个理论值小于 5 时, 用 2 × 2 列联表的精确检验:

$$P(k) = \frac{(n_{ii} + n_{ij})! (n_{ji} + n_{jj})! (n_{ii} + n_{ji})! (n_{ij} + n_{jj})!}{N! n_{ii}! n_{ij}! n_{ji}! n_{jj}!} \quad (2)$$

对于任一 2 × 2 列联表, 精确检验首先按 (2) 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 ($\min\{a, b, c, d\}$), 逐个降低直到为 0, 每降低一次按照 (2) 式求 $P(2)$ 、 $P(3)$ 、... $P(k)$...。 $P = \sum_{k=1}^m P(k)$ 即为 2 × 2 列联表精确检验的结果^[16]。

2.2.3 种间分离指数

采用 Pielou 的分离指数 (S) 计算公式来计算种间的分离程度^[17]。

$$S = 1 - \frac{N_{ij}(n_{ij} + n_{ji})}{(n_{ii} + n_{ij})(n_{ij} + n_{jj}) + (n_{ji} + n_{jj})(n_{ii} + n_{ji})} = \frac{2(n_{ii}n_{jj} - n_{ij}n_{ji})}{(n_{ii} + n_{ij})(n_{ij} + n_{jj}) + (n_{ji} + n_{jj})(n_{ii} + n_{ji})} \quad (3)$$

在计算分离指数时, 如果 n_{ij} 等于 0, 给这些 n_{ij} 加权 0.001, 这样做既可以防止公式 (3) 中出现分母为 0 的情况^[16], 而且更接近自然状态。

2.2.4 $N \times N$ 种对间的全面分离指数

除了上述对群落内两两物种之间的分离规律分析外, 根据张殷波等^[5]提出的全面分离这一概念, 用 χ^2 检验对 25 × 25 最近邻体列联表进行分析, 判断群落中所有物种间的分离规律, 即是全面分离还是不全面分离。

3 结果

3.1 通过计算 2 × 2 列联表的 χ^2 值, 得出: 25 个物种组成的 300 个种对中, 存在显著分离的有 294 对 ($P > 0.05$), 不显著分离的有 6 对 ($P < 0.05$)。

3.2 χ^2 值和分离指数 S 之间的关系

分离指数 S 的值变化于 -1 和 +1 之间, $P = 1, n_{ii}n_{jj} - n_{ij}n_{ji} = 0, -1 < S < 0$, 这其中包括 3 种情况, ① $n_{ii} = n_{jj} = n_{ij} = n_{ji} = 0$ 时, $S = -1$, 两个物种之间是随机毗邻的, ② $n_{ii} = n_{jj} = n_{ij} = 0$, 且 $n_{ij} \neq 0$ 或 $n_{ij} = n_{ji} = n_{jj} = 0$ 且 $n_{ii} \neq 0$, $-1 < S < 0$, 两物种发生完全正分离。③ n_{ii}, n_{jj}, n_{ij} 和 n_{ji} 中有任意两个为 0 时, $-1 < S < 0$, 两个物种发生负分离。当 $0.05 < P < 1, n_{ii}n_{jj} - n_{ij}n_{ji} > 0$ 时, $0 < S < 1$, 两个物种发生正分离, $n_{ii}n_{jj} - n_{ij}n_{ji} < 0$ 时, $-1 < S < 0$, 两个物种发生负分离, $n_{ii}n_{jj} - n_{ij}n_{ji} = 0$ 时, $S = 0$, 两物种随机毗邻。当 $P < 0.05, 0 < S < 1$, 且 $n_{ii}n_{jj} - n_{ij}n_{ji} > 0$ 时, 两物种随机毗邻。

因此, 结合 χ^2 检验结果对 S 进行区间划分得到表 3 的结果: 山核桃群落中正分离种对 112 对, 负分离种对 28 对, 随机毗邻种对 160 对, (154 对 $P > 0.05$, 6 对 $P < 0.05$)。

表 3 山核桃群落 25 种植物种间分离的类型和比例

Table 3 Types and proportion of interspecific segregation of 25 species in *Juglans mandshurica* communities, Lishan Mountain

正分离 Positive segregation	负分离 Negative segregation	随机毗邻 Random segregation
112 对	28 对	160 对
37.34%	9.33%	53.33%

3.3 两两物种间的分离情况

种间分离的结果可用星座图(图1)表示,实线表示正分离,虚线表示负分离,如果没有实线或虚线则表示随机毗邻。

由图1可见,种间分离在不同种之间存在一定差异。茶条槭、杜梨、虎榛子几乎与其它所有物种间形成正分离,土庄绣线菊仅与山桃、漆树、葱皮忍冬形成负分离,而与其它物种形成正分离,稠李、北京华楸、小叶鼠李、山楂等与大部分物种形成随机毗邻。从群落的类型来看,发生正分离的物种大多是群落的优势种或建群种,它们的个体相对较多,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优势种和一些伴生种,伴生种相对个体少,盖度低,与优势种具有相似的生境要求,激烈的竞争使得它们互相交错分布来充分利用资源。

3.4 所有种对之间的全面分离

对 25×25 列联表进行了 χ^2 检验,结果为: $\chi^2 = 1.701 \times 10^{38}$, $df = 576$, $\chi^2 > \chi_{0.01}^2$ 。所以认为所有种对不是全面分离的,也就是说25个物种相互随机毗邻,从而得出群落中物种的总体分离情况是全面不分离的。

4 讨论

种间关联和种间分离都是种间关系的研究内容,都可用于研究两个物种的空间分布关系^[17]。种间关联是物种在空间分布的关联性,更多地与生境关联。它的测定以样方为基础,因此与空间尺度有着密切关系,受样方大小和间隔的影响很大^[16]。一般来说,样方越大种间呈现正关联(或正相关)的种对数就越多;反之亦然。种间分离是物种在空间相互交错分布的程度,它的测定以距离为基础,不受样方大小、间隔甚至形状的影响,可以更准确地反映群落中各物种之间的空间关系。因此,它所反映的种间关系更客观。

种间分离往往依据分离指数来判断种间分离的程度,但对分离指数区间的划分是人为确定的^[4]。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,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 $-0.7 < S < 0.7$ 时为既非正分离也非负分离的随机毗邻种对^[4]。这种划分方法是基于个人的经验,缺乏统计学的理论依据。这样一来,不同的学者对同样的分离指数划分的区间可能不完全相同,就必然会出现难以判断甚至相互矛盾的情况。为了克服这一不足在获得种间分离指数的基础上,结合 χ^2 检验的结果对分离指数的区间进行划分,这样划分的区间具有统计学意义,也比较更切合实际。

自 Pielou 提出应用 χ^2 检验判断两个种间的分离程度是否显著^[1] 的方法以来,在实际研究中应用较少。柴勇等对菜阳河自然保护区岭罗麦(*Tarennoidea wallichii*)、光序肉实树(*Sarcosperma kachinense* var. *simondii*) 群落中树种的种间分离研究^[19] 应用了 χ^2 适合性检验,但存在如下不足:(1) 2×2 列联表的自由度有误($df = 3$)。 2×2 列联表的 $df = (r-1)(c-1)$ (r, c 分别是列联表的行数和列数) = $(2-1)(2-1) = 1$, 而不是 3。

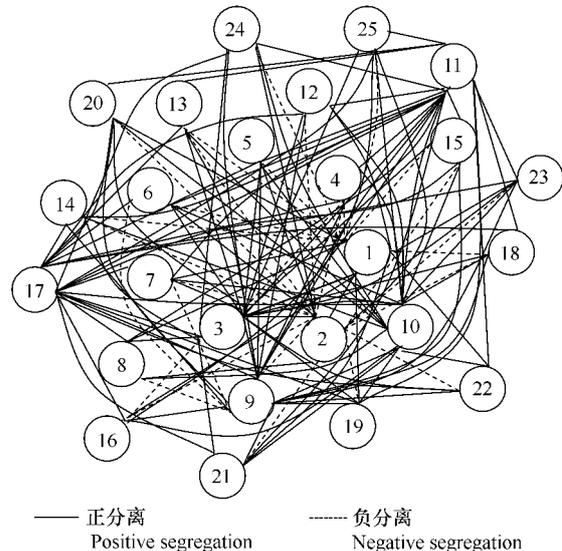


图1 山核桃群落25个物种的种间分离星座图

Fig. 1 Constellation diagrams of interspecific segregation of 25 species in *Juglans mandshurica* communities, Lishan Mountain, Shanxi1. 山核桃 *Juglans mandshurica*; 2. 连翘 *Forsythia suspensa*; 3. 北京丁香 *Syringa pekinensis*; 4. 金花忍冬 *Lonicera chrysantha*; 5. 鼠李 *Rhamnus davurica*; 6. 山桃 *Amygdalus davidiana*; 7. 葱皮忍冬 *Lonicera ferdinandii*; 8. 漆树 *Toxicodendron vernicifluum*; 9. 土庄绣线菊 *Spiraea pubescens*; 10. 茶条槭 *Acer ginnala*; 11. 杜梨 *Pyrus betulifolia*; 12. 鞘柄菝葜 *Smilax stans*; 13. 大果榆 *Ulmus macrocarpa*; 14. 牛奶子 *Elaeagnus umbellata*; 15. 榆 *Ulmus pumila*; 16. 山楂 *Crataegus pinnatifida*; 17. 虎榛子 *Ostryopsis davidiana*; 18. 灰栒子 *Cotoneaster acutifolius*; 19. 山荆子 *Malus baccata*; 20. 糙叶五加 *Acanthopanax henryi*; 21. 稠李 *Padus racemosa*; 22. 小叶鼠李 *Rhamnus parvifolia*; 23. 小叶鹅耳枥 *Carpinus turczaninowii* var. *stipulata*; 24. 北京花楸 *Sorbus discolor*; 25. 卫矛 *Euonymus alatus*

当 $\chi^2_{0.05} = 7.81$ ($df=3$) 远比 $\chi^2_{0.05} = 3.84$ ($df=1$) 要大, 这样两个种间本来是负分离或者正分离的关系, 由于用了较大的、错误的 $\chi^2_{0.05} = 7.81$ 值, 可能得到随机毗邻的错误结论, 曲解了两个种间的内在联系。(2) 对于 2×2 列联表错误的应用了没有经过连续性校正的公式:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(Q_i - T_i)^2}{T_i} \quad (4)$$

由于式(4)没有经过连续性校正, 因此按照式(4)计算出来的 χ^2 必然偏大, 这完全有可能导致得出不正确的结论。(3) 对于 2×2 列联表中某个理论值 ($T_i = 0$) 时, 赋加权值 1, 则计算出来的 χ^2 必然偏大。因此, 当 n_{ii} 、 n_{ij} 、 n_{ji} 和 n_{jj} 中的任意一个理论值小于 5 时, χ^2 值应用 2×2 列联表的精确检验法^[19]。

对于种间分离规律的研究, 也可以判定群落的演替阶段。在群落演替的早期, 负分离或正分离较多; 负分离可能是由于不同植物的种子散播在一起而成丛, 正分离则可能是因为生境异质性或者种子散播在母树附近而导致同种植物呈聚集分布。随着群落演替的进展, 种内竞争和不同物种由于资源利用性竞争以及不适生境导致的自然稀疏等因素的共同作用, 使得种间分离减少^[20]。到了成熟群落阶段, 种间关系已趋于稳定, 负分离出现的机会很少^[21]。本文研究的山核桃群落, 位于历山的西峡河漫滩和猪尾沟, 群落处于不稳定阶段。这是由于处于沟谷和河漫滩, 一方面山体岩石风化程度严重, 偶有岩石崩塌以及雨季河水上涨导致的洪水冲刷, 可能导致植物幼苗被掩埋, 或植物种子随水流冲刷而难以定居和萌发。这从调查的物种基径数据可以看出, 大部分的基径都在 1~5cm 之间, 大于 5cm 的植株极少。另一方面, 旅游和放牧干扰也是造成群落不稳定的重要原因之一。由于近年来在历山旅游业发展较快, 人类活动对植被践踏导致植被结构遭到破坏, 大牲畜 (主要是牛) 放牧的啃食导致了乔木和灌木的幼苗难以正常生长, 增加了群落的不稳定性。研究结果也可以看出, 正分离所占比例相对较大 37.34%。这与 Peilou^[20] 的结果基本一致。

以距离为基础研究种间分离的方法除最近邻体列联表^[1]外, 还有最近邻体距离法^[22]和 $K(t)$ 方程法^[23], 最近邻体距离法主要用于研究单种分布格局, $K(t)$ 方程法可以分析任意尺度下的种群空间分布格局和种间关系^[24], 因而得广泛应用。在过去的野外调查中, 判定所有个体的最近邻体及其距离是极其费时、费力的工作, 但随着地理信息系统 (GIS) 及其最近邻体分析模块在群落生态学中的引入, 人们可以方便、快捷地获得任何大小、任何形状区域内所有个体的最近邻体及其距离。与研究两物种的种间分离方法最近邻体列联表相比, $N \times N$ 最近邻体列联表方法更适合于多物种群落, 它全部记录了样地内的所有个体, 真实地反映了物种的空间分离关系, 分析结果也更符合实际情况。

种间分离是多因素联合作用的结果, 分离机制的研究, 国外大多集中在动物特别是水生动物受某一个或几个因素 (生境、食物、捕食、性别等) 作用下形成的物种分离^[25,26], 进而分析其种间关系, 对植物群落物种间分离机制还研究较少, 若能从植物物种的内部因素包括初始者的定居、种子的散布方式、自疏及种内种间相互作用 (竞争、他感) 等和外部因素如生境异质, 人为干扰等方面分析其分离机制, 会更好解释物种间的空间格局和种间的关系, 这将是今后生态学研究关注的问题。

References:

- [1] Pielou E C. Segregation and symmetry in two — species populations as studied by nearest neighbor relationships. *Journal of Ecology*, 1961, 49: 255 — 269.
- [2] Hamill D N, Wright S J. Testing the dispersion of juveniles relative to adults: a new analytic method. *Ecology*, 1986, 67: 952 — 957.
- [3] Bawa K S, Opler P A. Spatial relationship between staminate and pistillate plants of dioecious tropic forest trees. *Evolution*, 1977, 31: 64 — 68.
- [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(3): 380 — 387.
- [5] Zhang Y B, Zhang F. Interspecific segregation in *Elaeagnus mollis* communities. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 737 — 742.
- [6] Bi R C. Ecological feature and floral analysis of *Juglans mandshurica* community in Huoshan Mountain of Shanxi Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(6): 650 — 656.
- [7] Liu X L, Shang Guan T L. Study on wild plant resources in Zhongtiao Mountain, Shanxi. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 2006, 29(4): 436 — 440.

- [8] Wang H L, Li X F. Study on wild plant resources in Lishan Mountain, Shanxi. *Journal of Shanxi University(Natural Science Edition)*, 2005, 28(4): 436—438.
- [9] Liu X L, Xie S L. A Report on the wild ornamental plants of Lishan Nature Reserve in Shanxi Province. *Journal of Shanxi University(Natural Science Edition)*, 2005, 28(2): 189—191.
- [10] Zhang J M, Zhang F, Fan L S. On the flora of seed plants in Lishan mountains, Shanxi Province. *Bulletin of Botanical Research*, 2002, 22(4): 444—452.
- [11] Ru W M, Zhang F. Analysis on the flora of eastern Zhongtiao Mountains, Shanxi. *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 2000, 23(1): 82—87.
- [12] Ru W M, Zhang F. Study on vertical zonation of vegetation in the eastern part of the Zhongtiao Mountains, Shanxi Province. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2000, 6(3): 201—205.
- [13] Zhang J T, Zhang F, Shangguan T L. Reanalysis of vertical zones of vegetation in Zhongtiao Mountain. *Journal of Shanxi University(Natural Science Edition)*, 1997, 20:76—79.
- [14] Ru W M, Zhang J T, Zhang F, etc. Species diversity and community structure of forest communities in Lishan Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(4):561—566.
- [15] Reich R M, Davis R. Quantitative spatial analysis. Fort Collins: Colorado State University, 1998. 1—420.
- [16] Wang B S, Yu S X, Peng S L etc. Experimental manual of plant coenology. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1996.
- [17] Zhang J T. The methods for quantitative vegetation ecology. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995. 87—89.
- [18] Chai Y, Li Y Y, Sima Y K. Interspecific segregations of the tree species in *Tarennoidea wallichii*, *Sarcosperma kachinensis* var. *simondii* community in Caiyanghe Nature Reserve. *Acta Botanica Yunnanica*, 2005, 27(2):149—155.
- [19] Zhang F, Shangguan T L. Numerical analysis of interspecific relationships in an *Elaeagnus mollis* Community in Shanxi. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3):351—355.
- [20] Pielou E C. Mathematical ecology. New York: John Wiley & Sons, 1977. 1—385.
- [21] Coomes D A, Rees M, Turnbull L. Identifying aggregation and association in fully mapped spatial data. *Ecology*, 1999, 80:554—565.
- [22] Diggle P J. Statistical analysis of spatial point patterns. London: Academic Press, 1983. 1—148.
- [23] Ripley B D. Spatial statistics. New York: Wiley, 1981.
- [24] Zhang J T. Analysis of spatial point pattern of plant species. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22(4):344—349.
- [25] Platell M E, Potter I C, Clarke K R. Resource partitioning by four species of elasmobranchs. (Batoidea: Urolophidae) in coastal waters of temperate Australia. *Marine Biology*, 1998, 131: 719—734.
- [26] Franke H D, Gutow L, Janke M. Flexible habitat selection and interactive habitat segregation in the marine congeners *Idotea ballica* and *Idotea emarginata* (Crustacea, Isopoda). *Marine Biology*, 2007, 150:929—939.

参考文献:

- [4] 戴小华, 余世孝, 练璐瀚. 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.
- [5] 张殷波, 张峰. 翅果油树(*Elaeagnus mollis*) 群落的种间分离. *生态学报*, 2006, 26(3):737~742.
- [6] 毕润成. 山西霍山核桃群落生态特征及其区系分析. *应用生态学报*, 1999, 10(6): 650~656.
- [7] 刘学丽, 上官铁梁. 中条山野生植物资源研究. *山西大学学报(自然科学版)*, 2006, 29(4):436~440.
- [8] 王惠玲, 李秀芬. 山西历山野生植物资源研究. *山西大学学报(自然科学版)*, 2005, 28(4):436~438.
- [9] 刘晓铃, 谢树莲. 山西历山自然保护区野生观赏植物研究. *山西大学学报(自然科学版)*, 2005, 28(2):189~191.
- [10] 张建民, 张峰, 樊龙锁. 山西历山种子植物区系研究. *植物研究*, 2002, 22(4):444~452.
- [11] 茹文明, 张峰. 山西中条山东部种子植物区系分析. *山西大学学报(自然科学版)*, 2000, 23(1):82~87.
- [12] 茹文明, 张峰. 中条山东段植被垂直带的数量分类研究. *应用与环境生物学报*, 2000, 6(3):201~205.
- [13] 张金屯, 张峰, 上官铁梁. 中条山植被垂直带谱再分析. *山西大学学报(自然科学版)*, 1997, 20:76~79.
- [14] 茹文明, 张金屯, 张峰, 等. 历山森林群落物种多样性与群落结构研究. *应用生态学报*, 2006, 17(4):561~566.
- [16] 王伯荪, 余世孝, 彭少麟, 等. 植物群落学实验手册. 广州: 广东高等教育出版社, 1996.
- [17] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995, 87~89.
- [18] 柴勇, 李玉媛, 司马永康. 莱阳河自然保护区岭罗麦、光序肉实树群落中树种的种间分离. *云南植物研究*, 2005, 27(2):149~155.
- [19] 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.
- [24] 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.