

# 山西北部沙棘群落优势种种间关系

李 晶<sup>1</sup>, 上官铁梁<sup>1,2</sup>

(1. 山西大学黄土高原研究所, 山西 太原 030006 2 山西大学环境与资源学院, 山西 太原 030006)

**摘 要:** 用  $X^2$  检验、Jaccard 关联指数及 Pearson 相关和 Spearman 秩相关系数对山西北部地区沙棘群落 20 个优势种群进行种间关系研究。结果表明: 1)  $X^2$  检验共有 8 个种对为显著正关联, 2 个种对为显著负关联; Pearson 相关系数有 10 个种对为显著正相关, 3 个种对为显著负相关; Spearman 秩相关系数有 14 个种对为显著正相关, 7 个种对为显著负相关。Spearman 秩相关检验用于表征种间关联具有较高的灵敏度; 2) 草本层呈显著和极显著相关的种对最多, 灌木与草本间呈显著和极显著相关的种对次之; 3) 灌木种群间均呈现负相关, 表明沙棘群落尚处于动态演替之中。根据 Spearman 秩相关星座图, 将 20 个优势种划分为 4 个生态种组, 各生态种组内的种具有相似的生态适应性, 而组间则表现出明显的差异性; 灰栒子、小叶鼠李、灌木铁线莲对特殊生境有较强适应性, 呈现独立分布格局。

**关键词:** 沙棘群落; 优势种; 种间关系

中图分类号: Q948.5793.6

文献标识码: A

种间关联(物种联结性)是指不同物种在空间分布上的相互关联性, 通常是由于生境差异影响物种的分布而引起的, 它对于研究物种的相互作用、群落的组成和动态, 阐明种群生态具有重要意义<sup>[1,2]</sup>。

沙棘是胡颓子科沙棘属的一种落叶灌木, 主要分布于暖温带和温带落叶阔叶林区或森林草原区, 具有广泛的生态适应性, 在山西的黄土丘陵和山地均有生长, 常形成单优势群落。近十年来, 沙棘已被广泛应用于食品、医药、水土保持等许多方面, 同时沙棘又是一种非豆科固氮植物, 有改土肥田之功效<sup>[3,4]</sup>。本文旨在研究沙棘群落优势种之间的种间联结性和相关性, 以确定物种间相互关系, 为生产实践中沙棘的开发利用以及黄土高原植被的恢复和重建提供理论依据。

## 1 研究区域自然概况

研究区域位于山西省北部, 地处  $111^{\circ}56'07'' \sim 114^{\circ}30'02''$  E,  $39^{\circ}00'07'' \sim 40^{\circ}16'02''$  N 间, 在气候区

划上属温带半干旱大陆性季风气候区, 年平均气温  $3.5 \sim 8.0^{\circ}\text{C}$ , 年降水量  $370 \sim 421$  mm。土壤垂直分布明显, 从山麓到山顶依次为栗钙土、淡栗钙土、山地淋溶褐土、山地棕壤和山地草原草甸土<sup>[4]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地调查

在山西北部的灵丘、广灵、应县、朔州、山阴、平鲁、左云、右玉、阳高、天镇等地进行样地调查。在每个样地内取 2~4 个样方, 灌木层样方面积为  $5\text{ m} \times 4\text{ m}$ , 草本层样方面积为  $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ , 共计样方 33 个, 记录到 108 个种。将频度  $< 5\%$ , 盖度  $< 5\%$  的偶见种剔除, 组成  $33 \times 34$  的原始数据矩阵<sup>[5]</sup>。选取 20 个优势种(表 1), 进行种间联结和相关性分析, 即组成  $33 \times 20$  的数据矩阵。灌木和草本植物分别用重要值(重要值 = 相对盖度 + 相对高度 + 相对频度)和盖度作为数量指标。

收稿日期(Received date): 2005-09-09; 改回日期(Accepted): 2005-12-20

作者简介(Biography): 李晶(1974-), 女, 硕士研究生, 主要从事植被生态学研究。[Li Jing (1974-), female postgraduate of Shanxi University, works mainly on the research of vegetation ecology.]

上官铁梁, 男, 山西大学教授, 硕士研究生导师, 主要从事环境生态学和植物生态学的研究。[Shangguan Tieliang male Professor of Shanxi University, works mainly on environmental ecology and plant ecology.]

表 1 20 个优势种种名及种号

Table 1 Name and number of 20 dominant species

种号 No of species	种名 Name of species
1	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> subsp. <i>sinensis</i>
2	三裂绣线菊 <i>Spiraea tribbata</i>
3	虎榛子 <i>Ostryopsis davidiana</i>
4	灰栒子 <i>Cotoneaster acutifolius</i>
5	小叶鼠李 <i>Rhamnus parvifolia</i>
6	灌木铁线莲 <i>Clematis fruticosa</i>
7	铁杆蒿 <i>Artemisia sacrorum</i>
8	委陵菜 <i>Potentilla chinensis</i>
9	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>
10	柴胡 <i>Bupleurum chinense</i>
11	石防风 <i>Peucedanum terebinthaceum</i>
12	苔草 <i>Carex dispalata</i>
13	蓝花棘豆 <i>Oxytropis wenuka</i>
14	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>
15	兴安胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>
16	阿尔泰紫菀 <i>Heteropappus altaicus</i>
17	本氏针茅 <i>Stipa bungeana</i>
18	风毛菊 <i>Saussurea idostegia</i>
19	野古草 <i>Anundinella anomala</i>
20	野亚麻 <i>Linum stelleroides</i>

2.2 数据分析

2.2.1 关联性分析

根据物种在各个样方中是否存在将 33×20 的数量数据矩阵转化为 33×20 的 0/1 数据矩阵,应用 X<sup>2</sup> 进行检验

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

式中 n 为取样总数, a 为两物种均出现的样方数, b、c 为仅有一个物种出现的样方数, d 为两物种均未出现的物种数。当 ad>bc 时为正关联, ad<bc 时为负关联。

在下列两种情况下, X<sup>2</sup> 值被认为是有偏差: ① 2×2 列联表中任一小格期望值<1; ② 多于两个小格的期望值<5。这种偏差用 Yates 连续校正系数来纠正<sup>[5]</sup>。Yates 系数纠正公式为

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

若 X<sup>2</sup>>3.841 (0.01<P<0.05) 表示种对间联结性显著; 若 X<sup>2</sup>>6.635 (P<0.01) 表示种对间联结性极显著。

2.2.2 种间关联程度的测定

选用 Jaccard 指数来描述种间关联程度<sup>[9]</sup>。该指数仍以 0/1 数据为基础, a、b、c 值含义同上。指数越接近 1, 表示种对间的正联结越显著。公式为

$$JI = \frac{a}{a + b + c}$$

2.2.3 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析

灌木和草本植物分别采用重要值和盖度为数量指标, 进行 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析<sup>[9]</sup>。

Pearson 相关系数

$$r_{p(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - \bar{X}_i)^2 \sum_{k=1}^n (X_{jk} - \bar{X}_j)^2}}$$

Spearman 秩相关系数如下

$$r_{s(i,j)} = 1 - \frac{\sum_{k=1}^n d_k^2}{n^3 - n}$$

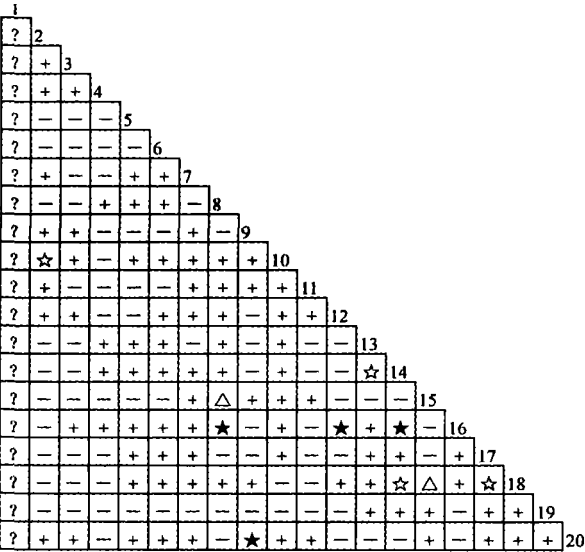
式中 n 为样方数, d<sub>k</sub>=(X<sub>ik</sub>-X<sub>i</sub>)(X<sub>jk</sub>-X<sub>j</sub>), X<sub>ik</sub> 为第 k 个样方中种 i 的重要值(盖度)。

3 结果与分析

3.1 X<sup>2</sup> 检验和 Jaccard 关联指数

由于沙棘(种 1)在所有样方中都存在, 不能进行 X<sup>2</sup> 检验, 故它与其他物种之间的关系无法确定, 但这并不表明沙棘与其他物种之间没有关联。事实上, 根据相关系数和秩相关系数检验的结果, 沙棘与多数灌木之间存在显著和极显著的负关联。

由图 1 可以看出, 除了沙棘外, 具有关联的总种对数为 171 个, 正关联的种对有 91 个, 负关联的种对有 80 个, 正负关联种对数分别占总种对数的 53.2% 和 46.8%, 说明群落负关联种对出现几率也较大, 仍处于发展演替之中。种对间呈显著、极显著关联的种对有 10 个, 占总种对数的 5.8%, 其中正关联种对有 8 个, 负关联种对有 2 个。植物种对的正联结体现了植物利用资源的相似性和生态位的重叠性, 植物种对的负联结体现了物种间的排斥性, 这是长期适应不同微环境、利用不同空间资源的结果, 也是生态位分离的反应<sup>[7]</sup>。显著关联的种对数所占比例很小, 说明种间具有一定的联结性, 但仍存在相当的独立分布格局。



★极显著正关联 ☆显著正关联 △显著负关联  
+正关联 -负关联 ? 不确定  
★Very significantly positive association ☆Significantly positive association △Significantly negative association  
+ Positive association - Negative association ? Indeterminate

图 1 20个优势种种间关联性的校正<sup>2</sup>检验半矩阵图  
Fig 1 The semimatrix of  $\chi^2$  correction test of association for 20 dominant species

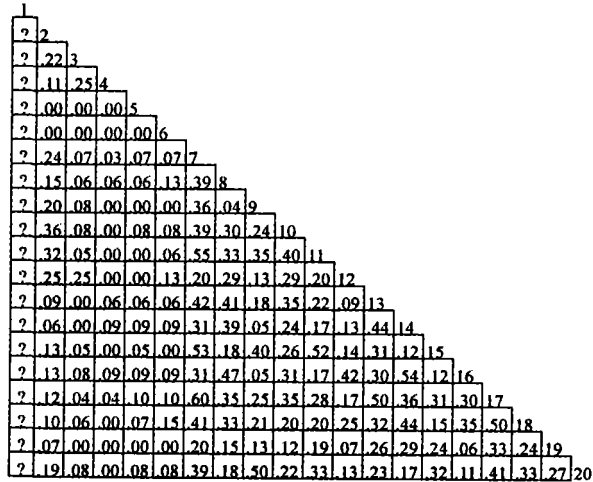


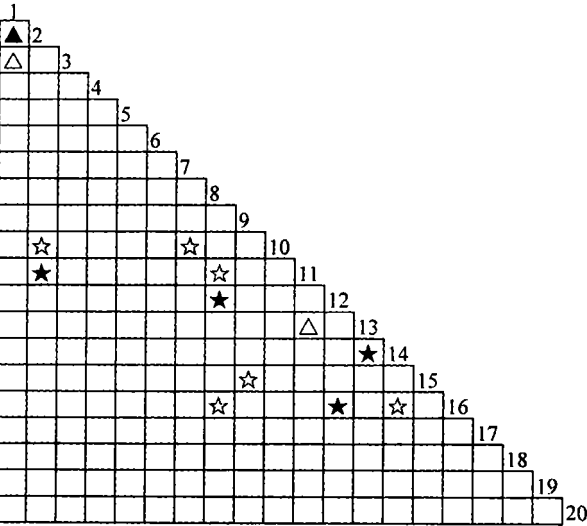
图 2 20个优势种种间 Jaccard 关联指数半矩阵图  
Fig 2 The semimatrix of Jaccard association index for 20 dominant species

图 2 为 Jaccard 关联指数半矩阵图, 用来描述种对间的关联程度。与  $\chi^2$  检验结果相比较,  $\chi^2$  检验中显著性越强的, Jaccard 关联指数也较高, 说明 Jaccard 关联指数和  $\chi^2$  检验在反映种对间的关联性和

关联程度方面较为一致。Jaccard 关联指数的值在 0~0.2 间的种对数有 102 个, 占总种对数的 59.6%, 表明这些物种间关联程度极小, 存在相当的独立分布格局, 这与  $\chi^2$  检验的结果一致。

3.2 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析

Pearson 相关分析中极显著相关的种对有 5 个, 显著相关的种对有 8 个, 共计 13 个 (图 3)。Spearman 秩相关分析中极显著相关的种对有 9 个, 显著相关的种对有 12 个, 共计 21 个 (图 4)。Pearson 相关和 Spearman 秩相关得出的显著和极显著相关的种对数均高于  $\chi^2$  检验的结果, 原因在于  $\chi^2$  检验的数据是以物种存在与否为依据的二元数据, 是一种定性数据, 不能区分联结强度的大小, 而 Pearson 相关和 Spearman 秩相关处理的是定量数据, 可以反映两物种同时出现的可能性程度。Spearman 计算的相关种对数又明显高于 Pearson 计算的相关种对数, 说明 Spearman 秩相关分析比 Pearson 相关分析的灵敏度高。



★极显著正相关 ☆显著正相关 ▲极显著负相关  
△显著负相关 □不显著相关  
★Very significantly positive correlation ☆Significantly positive correlation ▲Very significantly negative correlation  
△Significantly negative correlation □Not significantly correlation

图 3 20个优势种 Pearson 相关系数半矩阵图  
Fig 3 The semimatrix of Pearson's correlation coefficients for 20 dominant species

Pearson 相关分析要求物种服从正态分布, 而自然界大多数物种服从集群分布<sup>[8]</sup>, 使 Pearson 相关分析的结果有一定的局限性<sup>[19]</sup>。Spearman 秩相关分

析属于非参数检验,对物种的分布形式不做要求,应用起来较为方便,灵敏度也较高<sup>[9]</sup>。故本文只对秩相关分析的结果进行分析。

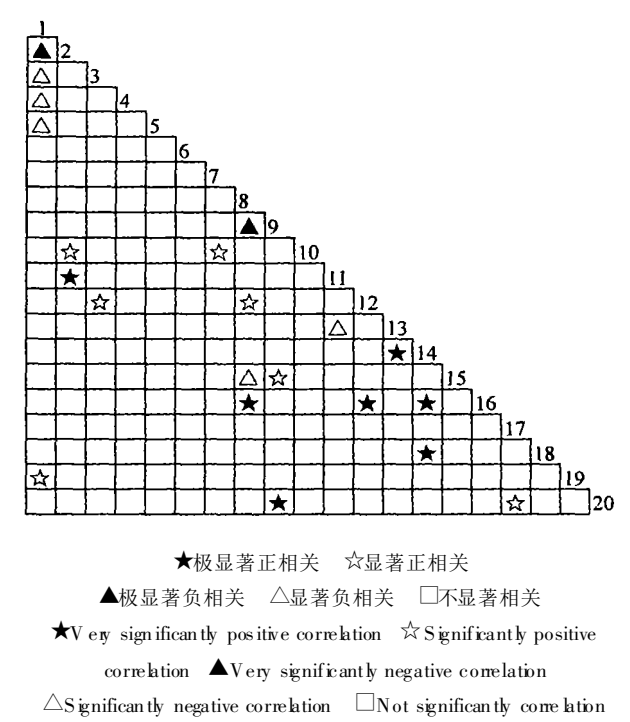


图 4 20 个优势种 Spearman 秩相关系数半矩阵图  
Fig 4 The semimatrix of Spearman's rank correlation coefficients for 20 dominant species

由图 4 中可知,在 190 个种对中,极显著正相关的种对有 7 个,显著正相关的种对有 7 个,共 14 个,占总种对数的 7.4%;极显著负相关的种对有 2 个,显著负相关的种对有 5 个,共 7 个,占总种对数的 3.7%。从相关种对数所占的比例来看,20 个优势种间具有一定的联结性,但仍有相当数量的独立分布格局存在,这与  $X^2$  检验和 Jaccard 关联指数的结果一致。

沙棘(种 1)与三裂绣线菊(种 2)之间呈极显著负相关,并与虎榛子(种 3)、灰栒子(种 4)、小叶鼠李(种 5)之间呈显著负相关,这体现了沙棘与其他灌木之间存在排斥性,可能是由于不同物种对群落环境和生存资源的需求不一致,生态位重叠的机会小,受环境资源限制,种间为争夺资源而产生的竞争和排斥明显增强。如同在灌木层的沙棘和三裂绣线菊常以群落的共建种出现,二者对资源的竞争尤为激烈。沙棘是比较喜阳耐干旱的旱中生灌木,三裂绣线菊为中生灌木,如此不同的生态适应性导致了

种间的负相关。沙棘与其他灌木种也属于这种情况。研究表明,沙棘的重要值远远大于其它灌木,在没有人干扰的条件下,群落演替将朝着沙棘单优势群落的方向进行。

按照相关性关系,以负相关作为划分种组的界限,同一种组内的种两两之间有尽可能大的正相关性原则,根据秩相关系数检验的结果,并结合物种各自的生态习性,将沙棘群落的优势种划分为四个生态种组。

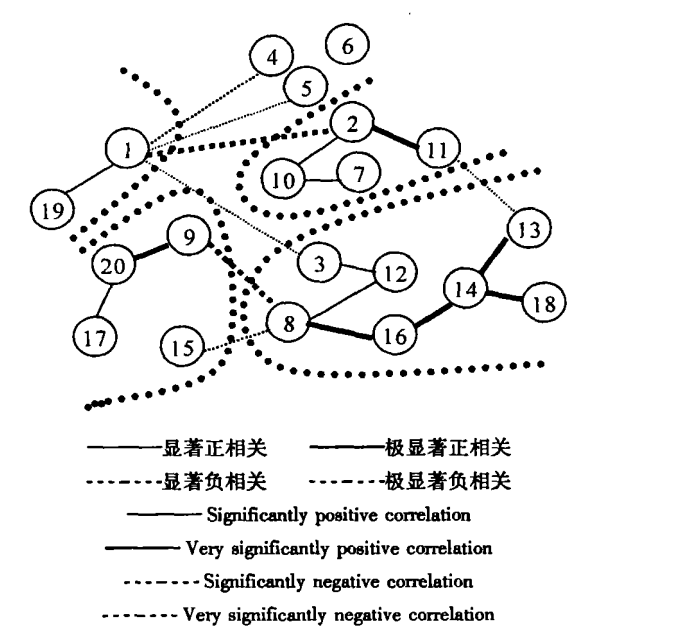


图 5 20 个优势种 Spearman 秩相关系数星座图  
Fig 5 The constellation diagram of Spearman's rank correlation coefficients for 20 dominant species

第一生态种组为沙棘(种 1)、野古草(种 19)。野古草是沙棘群落常见的伴生种。二者均为旱中生的植物,故种间呈显著正相关。

第二生态种组为三裂绣线菊(种 2)、铁杆蒿(种 7)、柴胡(种 10)、石防风(种 11)。

三裂绣线菊为中生灌木,在沙棘群落中与沙棘种群共同组成群落的优势层片,而柴胡和石防风则是沙棘群落常见的伴生种;铁杆蒿属于喜阴耐旱的植物,多生长于群落的下层,有时是草本层的优势种群。该种组显示出对阴冷环境的趋同适应。

第三生态种组为地榆(种 9)、兴安胡枝子(种 15)、本氏针茅(种 17)、野亚麻(种 20)。该种组内成员为中生或中旱生植物,其中兴安胡枝子、本氏针茅有时形成草本层的优势种群。

第四生态种组为虎榛子(种 3)、委陵菜(种 8)、苔草(种 12)、蓝花棘豆(种 13)、糙隐子草(种 14)、阿尔泰紫苑(种 16)、风毛菊(种 18)。该种组内的种多为旱中生或旱生的物种。虎榛子生态幅度较大,在阳坡、阴坡均可生长,在晋北地区广泛生长于半阳坡和阳坡,在此生境的群落草本层常以苔草为主。该种组内其他物种则是群落中常见的伴生种。

各种组内的成员呈显著和极显著正相关,这是由于它们具有相近的生态习性,如第一种组内的种类为旱中生植物,第三种组内的种类以中生或中旱生植物为主;第三四种组内的成员多为沙棘群落中的伴生种,它们的关系除受自身的生理特性影响外,还受优势种作用的影响,因此这些物种除了由于偏利及其他相互作用而形成正联结外,为争夺优势种留下的空间也有可能使其表现为一定的正关联<sup>[10]</sup>。由图 5 可以看出,各种组间呈现显著和极显著负相关,表明种组间具有相异的生态适应性。

灰栒子(种 4)、小叶鼠李(种 5)、灌木铁线莲(种 6)呈现出独立的分布格局,它们在群落中重要值较小,频度仅为 7%。灰栒子生长在海拔 1 600 ~ 1 800 m 间山地阳坡的林间空地,是森林砍伐后沙棘入侵而形成的次生群落的优势种;小叶鼠李是海拔 1 650 m 沙棘群落中的常见种类之一,对砾质性栗钙土有较强的适应性;灌木铁线莲分布在海拔 1 600 ~ 1 800 m 间的山地阳坡,具有喜阳耐旱的特点。上述种类对特殊生境条件需求的差异性和较强的适应性,使其表现出相对的独立性。

## 4 小结

1 沙棘灌丛优势种对间均有种间关系发生,以  $2 \times 2$  列联表为基础的  $X^2$  检验(Yates 矫正)和 Jaccard 指数不能反应种对间的数量变化关系。由于沙棘在所有样方都出现,故无法了解它与其他物种间的关联度。运用 Pearson 相关和 Spearman 秩相关检验种对间的相关程度,效果均优于  $X^2$  检验。结果表明采用 Spearman 秩相关系数的灵敏度高于 Pearson 相关系数,分析所得的结果更加全面。

2 沙棘群落灌木优势种群间的相关性多显示为负相关,表明沙棘灌丛在多种因素干扰的情况下,群落处于动态之中,大多数群丛尚未达到稳定状态。种间对环境和生存资源竞争激烈,具有不同的生态适应性,表现出一定的生态位分化。

3 草本层呈显著和极显著相关的种对最多,在层间关系的研究中,灌木与草本呈显著和极显著相关的种对次之。依据 Spearman 秩相关系数星座图中负相关联接线可将 20 个优势种分为 4 个生态种组。此外,灰栒子、小叶鼠李、灌木铁线莲具有独立分布格局的特性。

## 参考文献 (References)

- [1] Wang Bosun. Phytogeography [M]. Guangzhou Zhongshan University Press 1989 115 ~ 120 [王伯荪. 植物种群学 [M]. 广州: 中山大学出版社, 1989. 115 ~ 120]
- [2] Wu Dongli. Shangguan Tieliang. Study on interspecific relationship of the plant community of wetland in Hutuo River Valley Shanxi [J]. Journal of Shanxi University (Natural Science Edition). 2003 26 (1): 71 ~ 75 [吴东丽, 上官铁梁. 滹沱河湿地植物群落的种间关系研究 [J]. 山西大学学报 (自然科学版). 2003 26 (1): 71 ~ 75]
- [3] Shangguan Tieliang. Zhang Feng. Li Xiaoling. Studies on the characteristics of community of *Hippophae rhamnoides* subsp. Sinensis Scrub and Its Reasonable Utilization in Shanxi Province [J]. Journal of Wuhan Botanical Research. 1996 14 (2): 153 ~ 160 [上官铁梁, 张峰, 李晓玲. 沙棘灌丛的群落特征及其合理利用 [J]. 武汉植物学研究. 1996 14 (2): 153 ~ 160]
- [4] Shangguan Tieliang. Zhang Feng. Liu Yushan. Flora of spermatophytes and its significance in ecological economics in Shuo County Shanxi Province [J]. Journal of Wuhan Botanical Research. 1991 (4): 355 ~ 362 [上官铁梁, 张峰, 刘玉山. 山西朔县种子植物区系及其生态经济意义 [J]. 武汉植物学研究. 1991 9 (4): 355 ~ 362]
- [5] Shangguan Tieliang. Li Jing. Li Xian. Study on classification and ordination of *Hippophae rhamnoides* Subsp. Sinensis community in the north of Shanxi [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica. 2004 24 (8): 1452 ~ 1456 [上官铁梁, 李晶, 李秀兰. 山西北部地区沙棘群落的数量分类和排序研究 [J]. 西北植物学报. 2004 24 (8): 1452 ~ 1456]
- [6] Zhang Jintun. Methods in Quantitative Vegetation Ecology [M]. Beijing Chinese Science and Technology Press 1995 79 ~ 86 [张金屯. 植被数量生态学方法 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995 79 ~ 86]
- [7] Zhang Jintun. Jiao Rong. Interspecific association between woody plants in Shennongjia of Guandi Mountains Shanxi Province [J]. Bulletin of Botanical Research. 2003 23 (4): 458 ~ 463 [张金屯, 焦蓉. 关帝山神尾沟森林群落木本植物种间联结性与相关性研究 [J]. 植物研究. 2003 23 (4): 458 ~ 463]
- [8] Shangguan Tieliang. Zhang Feng. Research on the pattern and associations between dominants of the vegetation in Mian Mountain Shanxi Province [J]. Journal of Wuhan Botanical Research. 1988 6 (4): 357 ~ 364 [上官铁梁, 张峰. 山西绵山植被优势种群的分布格局与种间关联的研究 [J]. 武汉植物学研究. 1988 6 (4): 357 ~ 364]
- [9] Zhang Feng. Shangguan Tieliang. Numerical analysis of interspecific

- relationships in an *Elaeagnus mollis* Community in Shanxi[J]. *Acta Phytobotanica Sinica*. 2000 24(3): 351 ~ 355[张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落种间关系的数量分析[J]. 植物生态学报. 2000 24(3): 351 ~ 355]
- [10] Wang Guoliang, Liu Guobing. Study on the interspecific association of the *Artemisia sacronum* community in Loess Hilly Region[J]. *Grassland of China*. 2002 24(3): 1 ~ 6[王国梁, 刘国彬. 黄土丘陵沟壑区铁杆蒿群落种间联结性研究[J]. 中国草地. 2002 24(3): 1 ~ 6]
- [11] Ma Ziqing, Shangguan Tieliang, Ten Chongde et al. Vegetation in Shanxi[M]. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 2001. 70 ~ 84[马子清, 上官铁梁, 滕崇德, 等. 山西植被[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 70 ~ 84]

## Interspecific Relationships of Dominant Species in *Hippophae rhamnoides* Subsp. *Sinensis* Community in the North of Shanxi

LI Jing<sup>1</sup>, SHANGGUAN Tieliang<sup>1, 2</sup>

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

2 College of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

**Abstract** The interspecific relationships of dominant species in *Hippophae rhamnoides* Subsp. *Sinensis* community in the north of Shanxi were studied using  $X^2$ -test, Jaccard association index, Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient. The results indicated that 1) Positive association coefficients of 8 species pairs for  $X^2$ -test were either significant ( $p < 0.05$ ) or highly significant ( $p < 0.01$ ) and negative association coefficients were significant or highly significant in 2 species pairs. In addition, Positive correlation coefficients of 10 and 14 species pairs were significant or very significant using Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient respectively while 3 and 7 species pairs had significant or very significant negative correlation coefficients using these same tests. The Spearman's rank correlation coefficient test was more sensitive than Pearson's test in showing the associations of the species. 2) The significant and very significant species pairs appeared the most in herb layer while the number of significant and very significant species pairs were secondary between shrub and herb. 3) The associations of the scrubs were negative, which showed the community was in the phase of succession. Based on the Spearman constellation diagram, 20 dominant species were divided into four ecological species groups. The species in the same ecological species groups had similar ecological adaptability to habitats and those in different groups had apparent differences. *Cotoneaster acutifolius*, *Rhamnus parvifolia* and *Celastrus fruticosus* which can adapt to special habitats showed independent distribution patterns.

**Key words** *Hippophae rhamnoides* Subsp. *Sinensis* community; dominant species; interspecific relationships