

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.01.011

白玉芳,毕润成,白玉宏,等. 山西太岳山稀有濒危植物脱皮榆群落种间关联[J]. 广西植物,2014,34(1):56-61

Bai YF, Bi RC, Bai YH, et al. Interspecific relationship of rare and endangered *Ulmus lamellosa* community in Taiyue Mountain of Shanxi[J]. *Guihaia*, 2014, 34(1):56-61

# 山西太岳山稀有濒危植物脱皮榆群落种间关联

白玉芳, 毕润成, 白玉宏, 王晓霞, 张钦弟\*

(山西师范大学 生命科学学院, 山西 临汾 041004)

**摘要:** 研究区域石膏山位于太岳山国家森林公园的北端,是中国脱皮榆较为集中的分布区。基于 $2 \times 2$ 联列表,通过方差分析、 $\chi^2$ 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验,对太岳山脱皮榆群落优势种的种间关联性进行研究。方差分析表明:脱皮榆群落的乔木层灌木层总体关联性均呈不显著相关,反映出该地区物种间虽存在一定的联系,但仍然存在独立的分布格局。不同检验结果表明:乔木层、灌木层绝大多数种对的联结关系未达到显著水平,种对间的独立性相对较强,这种种间联结的松散性可能与群落目前的发展阶段及物种本身的生态学特性有关,各群落正处于朝稳定方向发展的阶段。

**关键词:** 太岳山; 脱皮榆群落; 种间关联

**中图分类号:** Q948      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3142(2014)01-0056-06

## Interspecific relationship of rare and endangered *Ulmus lamellosa* community in Taiyue Mountain of Shanxi

BAI Yu-Fang, BI Run-Cheng, BAI Yu-Hong, WANG Xiao-Xia, ZHANG Qin-Di\*

(College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

**Abstract:** The study area Shigao Mountain located in the northern end of National Forest Park in Taiyue Mountain, which is a concentrated distribution area of *Ulmus lamellosa* in China. Based on  $2 \times 2$  contingency table, and by using  $\chi^2$ -test, Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation, this paper studied the interspecific relationship of dominant species in *U. lamellosa* community in Taiyue Mountain. Variance analysis showed that the interspecific correlations of tree layer and shrub layer of *U. lamellosa* community were not significant. It reflected that there was a certain relationship between species in the region, but there were still independent distribution patterns. Different test results indicated that most species pairs in the tree layer and the shrub layer did not show significant association, which might be related to the serial stage of the forest and the ecological characteristics of the species. The forest was developing to the stable stage.

**Key words:** Taiyue Mountain; *Ulmus lamellosa* community; interspecific relationship

脱皮榆(*Ulmus lamellosa*)为榆科(Ulmaceae)榆属(*Ulmus*)植物,是我国特有种,同时也是国家二级保护的珍稀濒危物种。脱皮榆分布于黄土高原东部边缘和华北平原交界处,山西南部是其分布中心。

本文所研究的区域位于太岳山国家森林公园的北端,是中国脱皮榆较为集中的分布区。该区域的脱皮榆群落发展时间长而且受人类干扰较少,结构完整,对开展脱皮榆林的研究及保护具有重要意义。

收稿日期: 2013-06-14      修回日期: 2013-10-29

基金项目: 山西省化学优势重点学科建设项目(912019); 山西省青年科技研究基金(2013021030-3); 山西师范大学校科学研究基金(ZR1218); 山西师范大学生命学院科学研究基金(SMYKZ-19)。

作者简介: 白玉芳(1987-),女,山西临汾市人,在读硕士,主要从事植物生态学研究,(E-mail)18635760418@163.com。

\*通讯作者: 张钦弟,博士,从事植物生态学研究,(E-mail)zhangqd2008@gmail.com。

种间关联是生态群落的一个重要特征,它是指不同物种在空间分布上的相互关联性,通常是由于群落生境的差异影响物种的分布而引起的,种间关联的研究是物种群落结构稳定程度与群落演替的重要基础。对脱皮榆的研究工作主要集中在脱皮榆的种群结构、分布格局、生物多样性、生态位等方面(茹文明等,2007),而在脱皮榆种间关联方面的研究目前尚未见有文献报道。通过种间关联的研究可以确定其种间关系,深入研究种群分布格局及其动态,从而对物种生物学特性、种间关系和生境条件等因素综合利用下的种群个体水平空间配置和分布状态做出定量描述,有助于揭示群落演替中植物共生关系与替代机制,为荒山地区造林和林区脱皮榆林的抚育、保护以及树种选择和群落环境监测管理提供一定依据。

## 1 自然地理概况

本文研究区域为太岳山石膏山景区,位于晋中地区灵石东南部,东面与长治市沁源县接壤,处于晋中、晋南、晋东南三地交界处,为太岳山主峰之一。111°53′~111°59′ E, 36°41′~36°47′ N,海拔 1 000~2 532 m,景区面积 3 213 hm<sup>2</sup>。属暖温带大陆性季风气候。因地形复杂,沟道狭长,相对垂直高差大,气候凉爽,雨量充沛,年均气温 9~10℃,年均降水量 550~650 mm,无霜期 153 d。石膏山植被保存特别完好,植被垂直变化明显,1 300 m 以下为灌丛林带,1 300~2 000 m 为针阔混交林带,2 000~2 200 m 为针叶林带,2 200~2 400 m 为阔叶林带,2 400 m 以上为亚高山草甸。主要树种有侧柏(*Platycladus orientalis*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、白皮松(*P. bungeana*)、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)、鹅耳枥(*Carpinus turczaninowii*)等,还有猕猴桃、流苏树、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)等稀有树种(盛海等,2002)。

## 2 研究方法

### 2.1 样方调查

于 2012 年 7 月在山西太岳山石膏山进行野外调查,针对不同的生境、不同的群丛类型,确定有代表性的脱皮榆样地进行调查。依据不同的海拔高度(1 150~1 600 m),每升高 50 m 设置 6 个样方。共

设置 60 个 10 m×10 m 的乔木样方,在每个乔木样方内取 2 个 5 m×5 m 的灌木样方。记录样方内所有乔木层和灌木层植物的种名、株数、胸径、高度、冠幅等。同时测定每个样方的海拔、经度、纬度、坡向、坡度、坡位等环境因子。共调查植物 62 种,其中乔木 21 种,灌木 41 种。

### 2.2 数据处理

2.2.1 重要值计算 由于植物种类较多,为了计算方便,剔除频度<5%的种后,得到 32 个优势种(表 1)进行种间联结性的计算和分析,其中乔木 16 种,灌木 16 种。

表 1 32 种植物的编号及重要值

Table 1 Name number and important values of 32 species

编号 No.	乔木层 Tree layer		灌木层 Shrub layer	
	物种 Species	重要值 IV	物种 Species	重要值 IV
1	脱皮榆 <i>Ulmus lamellosa</i>	0.343	五台忍冬 <i>Lonicera szechuanica</i>	0.143
2	千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	0.155	卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	0.106
3	五角枫 <i>Acer mono</i>	0.112	北京忍冬 <i>Lonicera elisae</i>	0.106
4	茶条槭 <i>Acer gimala</i>	0.050	接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>	0.092
5	白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>	0.049	山梅花 <i>Philadelphus incanus</i>	0.058
6	辽东栎 <i>Quercus wutaishanica</i>	0.044	陕西荚蒾 <i>Viburnum schensianum</i>	0.041
7	山杨 <i>Populus davidiana</i>	0.042	水栒子 <i>Cotoneaster multiflorus</i>	0.040
8	葛罗槭 <i>Acer grosseri</i>	0.042	东北茶藨子 <i>Ribes mandshuricum</i>	0.037
9	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	0.036	桦叶荚蒾 <i>Viburnum betulifolium</i>	0.032
10	油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	0.030	鞘柄菝葜 <i>Smilax stans</i>	0.025
11	栎树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	0.026	黄栌 <i>Cotinus coggygria</i>	0.023
12	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	0.025	木蓝 <i>Indigofera tinctoria</i>	0.018
13	槲栎 <i>Quercus aliena</i>	0.021	粗齿铁线莲 <i>Clematis argentilucida</i>	0.016
14	白皮松 <i>Pinus bungeana</i>	0.019	三裂绣线菊 <i>Spiraea trilobata</i>	0.012
15	山核桃 <i>Carya cathayensis</i>	0.016	暴马丁香 <i>Syringa reticulata var. amurensis</i>	0.010
16	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	0.003	菝葜 <i>Smilax china</i>	0.006

采用重要值(IV)作为物种的综合数量指标(王伯荪等,1989):乔木重要值=(相对密度+相对高度+相对显著度)/3;灌木草本重要值=(相对高度+相对盖度)/2。

2.2.2 总体关联性分析 根据物种是否在样方内出现做出样方二元数据矩阵作为原始数据,采用方差

比率法,通过计算物种间联结指数(VR)(Schulter, 1984),来测定所研究的整个群落的总体关联性,用W检验关联的显著性(王乃江等,2010;张桂萍等,2005;杨晓东等,2010)。计算公式:

$$\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i) \quad (1)$$

$$S_T^2 = (1/N) \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \quad (2)$$

$$P_i = n_i / N \quad (3)$$

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 \quad (4)$$

式中,S为总的物种数;N为总样方数; $T_j$ 为样方j内出现的研究物种总数, $n_i$ 为物种i出现的样方数,t为样方中种的平均数, $t = (T_1 + T_2 + \dots + T_n) / N$ 。

在独立性假设条件下,VR期望值为1,当 $VR > 1$ 时,表明物种间呈现出净的正关联; $VR < 1$ 时,表明物种间存在净的负关联; $VR = 1$ ,即符合所有种间无关联的零假设。采用统计量 $W = N \times (VR)$ 检验VR值偏离1的显著程度,若种间无关联,则W落入由下面 $\chi^2$ 分布给出的界限的概率为90%: $\chi_{0.95}^2(N) \leq W \leq \chi_{0.05}^2(N)$ 。

2.2.3 种间联结性分析 种间联结一般采用 $\chi^2$ 检验进行定性研究,根据 $2 \times 2$ 列联表的 $\chi^2$ 统计量测定成对种间的联结性(Dice, 1945),将乔木层、灌木层优势物种是否在60个标准样方中出现转化为 $60 \times 16$ 的0、1二元数据矩阵,0表示物种在样方中未出现,1表示出现。依据上述原始数据矩阵,构造 $2 \times 2$ 联列表,计算出a、b、c、d的值(王伯荪等,1985)。由于取样为非连续性取样,因此非连续性数据 $\chi^2$ 用Yates的连续校正公式计算(张金屯,2004)。

$$\chi^2 = \frac{N(|ad - bc| - 0.5N)^2}{(a+b)(a+c)(b+d)(c+d)} \quad (5)$$

式中,N表示总样方数;a、b、c、d是观测值,a

为两物种同时出现的样方数,b、c分别为仅有1个物种出现的样方数,d为两物种均未出现的样方数。通常 $P > 0.05$ ,即 $\chi^2 < 3.841$ 时,认为两个种独立分布,即中性联结; $0.01 < P < 0.05$ ,即 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时,认为种间联结显著; $P < 0.01$ 即 $\chi^2 > 6.635$ 时,认为种间联结极显著。当 $ad > bc$ 时为正联结, $ad < bc$ 则为负联结。

2.2.4 种间相关性测定 应用定量数据(重要值)对种间关系进行Pearson相关系数和Spearman秩相关系数分析(张金屯,2004)。

Pearson相关系数计算公式如下:

$$r_p(i, j) = \frac{\sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_i)^2 \sum_{k=1}^N (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}} \quad (6)$$

Spearman秩相关系数如下:

$$r_s(i, j) = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^N d_k^2}{N^3 - N} \quad (7)$$

式中, $r_s(i, j)$ 为Spearman秩相关系数,N为总样方数, $dk = (x_{ik} - x_{jk})$ , $x_{ik}$ 和 $x_{jk}$ 分别为种i和种j在样方k中的秩。

### 3 结果与分析

#### 3.1 优势种种间的总体关联分析

由表2可以看出,石膏山脱皮榆群落乔木、灌木层种对的总体关联性均不显著,不存在明显的差异。

乔木层的 $VR = S_T^2 / \delta_T^2 = 1.159 > 1$

说明乔木层中的16个物种之间表现出净的正联结。对以上测定结果,采用统计量W检测VR值偏离1的显著性。

$$W = N \times (VR) = 69.523$$

表2 主要种群种间总体关联性

Table 2 Overall association among dominant populations

层次 Layer	$S_T^2$	$\delta_T^2$	方差比率 VR	检验统计量 W	$\chi^2$ 的临界值 $\chi_{0.95(82)}^2$	$\chi^2$ critical value $\chi_{0.05(82)}^2$	测定结果 Result
乔木层 Tree layer	2.961	2.555	1.159	69.523	43.19	79.08	不显著 Insignificant
灌木层 Shrub layer	3.964	2.995	1.323	79.405	43.19	79.08	不显著 Insignificant

查表(杜荣赛,1999)得到相应的 $\chi^2$ 值, $\chi_{0.95(60)}^2 = 43.19$ , $\chi_{0.05(60)}^2 = 79.08$ ,W落在 $\chi_{0.95(60)}^2$ 与 $\chi_{0.05(60)}^2$ 之间,说明乔木层的16个主要物种种间总体关联性不显著。

灌木层的VR值为1.323,W=79.405。W落在

区间之间,说明灌木层的16个主要物种之间的关联性不显著。表明脱皮榆群落灌木层物种间虽存在一定的联系,但仍然存在独立的分布格局。

利用 $\chi^2$ 检验来判断种间关联性,首先要把原始数据转化为二元数据,这样在转化的过程中不可避

免地会损失一定的信息量(王琳等,2004), $\chi^2$ 检验只能定性的分析物种之间关联与否,不能定量给出关联程度的大小。因此在 $2 \times 2$ 联列表 $\chi^2$ 检验的基础上,结合 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验种间关系,能更准确、全面地反映出石膏山脱皮榆群落优势物种之间的相互关联性。

本研究分别采用 16 种乔木、16 种灌木,在 60 个样方中的重要值矩阵作为 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的原始数据。

### 3.2 乔木层关联性分析

3.2.1 乔木层优势种的种间联结性分析 根据 Yates 公式校正后的 $\chi^2$ 检验值(图 1),16 种优势物种间,大部分种对的种间关联未达到显著程度,种间联结较为松散,其中有 67 对表现为正关联,占 55.83%。其中极显著正关联的有 10 对,显著正关联的有 3 对,占总对数的 10.83%。有 53 对表现为负关联,占 44.17%。极显著负关联的有 5 对,显著负关联的有

4 对,占总对数的 7.5%。正负比为 1.26。

3.2.2 乔木层优势种的种间相关性分析 Pearson 相关系数检验中,乔木层 16 种主要物种的 120 个种对中,大部分种对的种间关联未达到显著程度,种间联结较为松散,这和 $\chi^2$ 检验的结果相一致。其中 49 对表现为正关联,占 40.83%,极显著正关联的有 11 对,显著正关联的有 5 对,占总对数的 13.33%。70 对表现为负关联,占 58.33%。极显著负关联的有 10 对,显著负关联的有 6 对,占总对数的 13.33%。正负比为 0.7。有 1 对表现出无关联(图 1)。

Spearman 秩相关系数检验中,16 对主要物种的 120 个种对中,有 50 对表现为正关联,占 41.67%,其中极显著正关联的有 12 对,显著正关联的有 7 对,占总对数的 15.83%。有 70 对表现为负关联,占 58.33%,其中极显著负关联的有 11 对,显著负关联的有 8 对,占总对数的 15.83%。正负比为 0.71(图 1)。

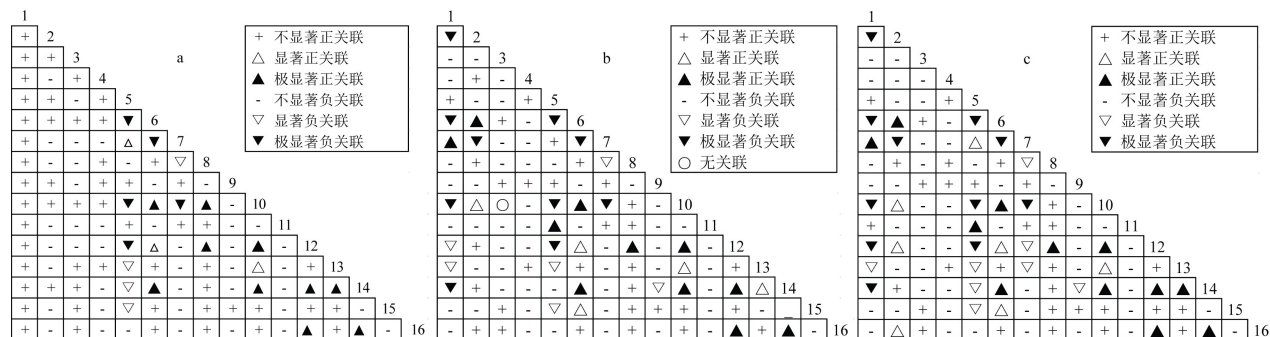


图 1 乔木层种间关联性半矩阵图 a: $\chi^2$ 检验; b:Pearson 相关系数; c:Spearman 秩相关系数。下同。

Fig. 1 Semi-matrix of inter-specific correlations of dominant tree population

a: $\chi^2$ -test; b:Pearson correlation coefficient; c:Spearman rank correlation coefficient. The same below.

由图 1 看出,16 种主要物种间,大部分种对的种间关联未达到显著程度,种间联结较为松散,说明乔木层主要种群种间联结独立,表现出相互独立的特点,种群间无关联。从图 1 看出,脱皮榆与山杨呈极显著正关联,表明具有相似的生物学特性,稍耐荫,对土壤的适应性较广,耐干旱瘠薄。在酸性至中性土壤皆可生长,生态位具有不同程度的重叠,对生境要求较为一致。为脱皮榆群落中的伴生树种。

### 3.3 灌木层关联性分析

3.3.1 灌木层优势种的种间联结性分析 根据 Yates 公式校正后的 $\chi^2$ 检验值(图 2),16 种优势物种间,大部分种对的种间关联未达到显著程度,种间联结较为松散。其中,有 61 对表现为正关联,占

50.83%。其中极显著正关联的有 2 对,显著正关联的有 5 对,占总对数的 5.83%。有 56 对表现为负关联,占 46.67%。显著负关联的有 1 对,占总对数的 0.83%。正负比为 1.09。还有 3 对表现出无关联。

3.3.2 灌木层优势种的种间相关性分析 Pearson 相关系数检验中,灌木层 16 种主要物种的 120 个种对中,有 49 对表现为正关联,占 40.83%,其中极显著正关联的有 7 对,显著正关联的有 6 对,占总对数的 10.83%。有 71 对表现为负关联,占 59.17%,极显著负关联的有 3 对,显著负关联的有 7 对,占总对数的 8.33%。正负比为 0.69(图 2)。

Spearman 秩相关系数检验中,16 对主要物种的 120 个种对中,有 48 对表现为正关联,占 40%,

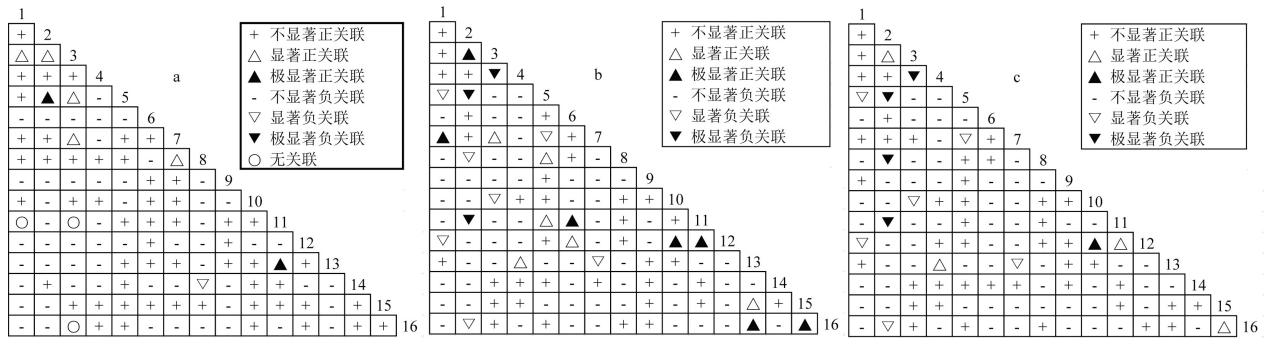


图 2 灌木层种间关联性半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix of inter-specific correlations of dominant shrub population

其中极显著正关联的有 1 对,显著正关联的有 4 对,占总对数的 4.17%。有 72 对表现为负关联,占 60%,其中极显著负关联的有 4 对,显著负关联的有 6 对,占总对数的 8.33%。正负比为 0.67(图 2)。

由图 2 看出,灌木层 16 种主要物种间,大部分种对的种间关联未达到显著程度,种间联结较为松散,说明灌木层主要种群种间联结独立,表现出相互独立的特点,种群间无关联。从图 2 看出,鞘柄菝葜与木蓝呈极显著正关联,表明具有相似的生物学特性,生态位具有不同程度的重叠,对生境要求较为一致。都喜欢阴湿和弱光环境,多出现在沟谷中。

灌木植物在个体生长和演替过程中,除受到土壤、水分等环境因子影响外,还受到来自乔木层的影响,从图中可以看出,灌木层中主要种群的种间关联的显著性较乔木层有所减少,灌木层生长在乔木层下,受到乔木层的庇护,种间关联的稳定性增加。

通过上述分析表明,太岳山脱皮榆群落中正关联种对数小于负关联的种对数,说明乔木层、灌木层 16 个主要物种间对生境具有不同的生态适应性和相互分离的生态位。说明群落的成熟程度较高,各物种以相互独立的关系求得资源的充分利用,从而保持物种间稳定发展,保持群落整体的稳定性。

## 4 结论与讨论

植物群落内物种间的相互关系是群落重要的数量和结构特征。本研究通过种间联结指数、 $\chi^2$  检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验等方法,对太岳山脱皮榆群落中乔木层、灌木层中主要物种间的相关性进行了检验。通过比较检验结果,发

现  $\chi^2$  检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的检验结果具有一致性,但也存在差异。主要原因是  $\chi^2$  检验是由种对的二元数据得来,在转化过程中损失了一部分信息,只能做定性判断,Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数的检验是基于重要值、盖度、频度等定量数据的检验方法,属定量检验方法。乔木层中  $\chi^2$  检验显著率为 18.33%,Pearson 相关系数检验的显著率为 26.67%,Spearman 秩相关系数检验的显著率为 31.67%。灌木层中  $\chi^2$  检验的显著率为 6.67%,Pearson 相关系数检验的显著率为 19.17%,Spearman 秩相关系数检验的显著率为 12.5%。Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的显著率明显高于  $\chi^2$  检验的结果。这表明,Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的灵敏性较高,更能真实的反映出群落中的种间联结性,这就说明了在进行种间关系的研究时,要把  $\chi^2$  检验和 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验结合起来进行,以期准确反应群落间的种间联结性。

脱皮榆群落乔木层 16 个和灌木层 16 个主要种,经  $\chi^2$  检验、Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关分析可知,绝大多数种对间的关联性不显著,种对间的独立性较强,总体关联性均不显著。暗示脱皮榆群落的乔木层和灌木层均处于不稳定的阶段,正在不断进行演替。不同的是灌木层中达到显著和极显著的种对数远远小于乔木层,这是由于灌木植物在个体生长和演替的过程中,除受到土壤、水分等环境因子影响外,还要受到来自乔木层的影响。

通过对太岳山脱皮榆群落的种间联结性研究发现,群落乔木层中的优势种脱皮榆与其他的植物大

多呈现负关联,尤其和千金榆、辽东栎、油松、白皮松呈现显著的或极显著的负相关,灌木层中优势种脱皮榆与山梅花和木蓝呈现显著负相关,种间竞争非常激烈。这表明在脱皮榆的生长和更新的过程中,除了受到种内竞争的影响,还受到种间竞争的影响。这就要求我们对脱皮榆群落进行保护时,要特别注意来自种间的竞争,在脱皮榆混交林中与千金榆、辽东栎、油松、白皮松的密度不宜过大。尤其在尚未成熟的脱皮榆群落中,要避免以上物种对脱皮榆幼树的影响,避免其对脱皮榆幼树形成较大的竞争影响。其次,在对脱皮榆林进行合理的抚育时,要注意有选择的择伐种植密度过大的其他树种。

目前,测定种间联结性已成为许多学者研究群落演替和动态的一种常用方法(周先叶等,2000;林伟强等,2004)。目前普遍认为,群落发育初期,物种间趋向于随机性,未形成特定的种间关系。随着演替进展到中期,群落中物种间的关系随着种间竞争不断加剧而发生复杂变化,表现较强的正关联和负关联,具有相近生物学特性的物种表现为正关联,它们的生态位具有不同程度重叠,对生境的需求较为一致。相反,生态习性相异的物种表现为负关联,它们具有不同的生态位,对生境的需求也不相同。本文分别研究了太岳山脱皮榆群落乔木层灌木层的各16个主要物种的种间关联和相关系数,检测灵敏度较高的Pearson相关分析、Spearman秩相关分析结果表明,群落中物种间的总体关联性较弱,多数种对种间关联程度未达到显著水平,检测结果的正负关联比均小于1。相关研究表明,群落成熟度愈高,物种间应存在较强的正关联,以求多物种稳定的共存。种间关联值高表明一个种的存在对另一个种有利,或是这两个种对环境的差异有相似的反应;相反,关联值低或负值说明这两个种所需的环境条件不同或是一个种存在对另一个种有排斥作用(王伯荪等,1985)。太岳山脱皮榆群落乔木层灌木层种对间的关联程度较低,暗示该种群在群落中具有一定的稳定性且处于动态的发展阶段之中,正在不断更新。因此,在未来相当长的间应关注对太岳山自然环境

的保护和管理,使其群落达到一定的稳定状态。

## 参考文献:

- 王伯荪,李明光,彭少麟. 1989. 植物种群学[M]. 广州:中山大学出版社
- 杜荣赛. 1999. 生物统计学[M]. 北京:高等教育出版社
- 张金屯. 2004. 数量生态学[M]. 北京:科学出版社
- Dice LR. 1945. Measure of the amount of ecologic association between species[J]. *Ecology*, **26**:297-302
- Ru WM(茹文明), Zhang GP(张桂萍), Bi RC(毕润成), *et al.* 2007. Population structure and pattern of endangered *Ulmus lamellosa* in Shanxi(濒危植物脱皮榆种群结构与分布格局研究)[J]. *Chin J Appl Environ Biol*(应用与环境生物学报), **13**(1):14-17
- Schluter D. 1984. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. *Ecology*, **65**:998-1005
- Sheng H(盛海), Wang ZZ(王治中), Wang ZQ(王占勤), *et al.* 2002. Studies on managing pattern of cooperative development in Shigaoshan Landscape-Taiyueshan National Forest Garden(太岳山国家森林公园石膏山景区合作开发经营模式研究)[J]. *Shanxi For Sci Technol*(山西林业科技), **4**(12):44-48
- Wang BS(王伯荪), Peng SL(彭少麟). 1985. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower-subtropical evergreen-broadleaved forests. I. The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association(南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究. I. 种间联结测式的探讨与修正)[J]. *Acta Phytocol Geobot Sin*(植物生态学与地植物学丛刊), **9**(4):274-285
- Wang L(王琳), Zhang JT(张金屯). 2004. Interspecific association and correlation of dominant species of Lishan Mountain meadow in Shanxi Province(历山山地草甸优势种的种间关联和相关分析)[J]. *Acta Bot Bor-Occ Sin*(西北植物学报), **24**(8):1435-1440
- Wang NJ(王乃江), Zhang WH(张文辉), Lu YC(陆元昌), *et al.* 2010. Interspecific association among the plants communities in the forest at Ziwuling area in Shaanxi Province(陕西子午岭森林植物群落种间联结性)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **30**(1):67-78
- Yang XD(杨晓东), Fu DP(傅德平), Yuan Y(袁月), *et al.* 2010. Analysis on interspecific relationship of the dominant plant species in the Ebinur Lake Wetland Nature Reserve, Xinjiang(新疆艾比湖湿地自然保护区主要植物的种间关系)[J]. *Arid Zone Res*(干旱区研究), **27**(2):249-256
- Zhang GP(张桂萍), Zhang F(张峰), Ru WM(茹文明). 2005. The effect of traveling on the interspecific correlation of dominant populations in Lishan subalpine meadow, Shanxi Province(旅游干扰对历山亚高山草甸优势种群种间相关性的影响)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **25**(11):2868-2874