

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2014.01.012

冯飞, 张钦弟, 白聪, 等. 云丘山地区灌木群落优势种数量关系[J]. 广西植物, 2014, 34(1): 62–67

Feng F, Zhang QD, Bai C, et al. Interspecific relationship of dominant shrub species in Yunqiu Mountain area[J]. *Guihaia*, 2014, 34(1): 62–67

云丘山地区灌木群落优势种数量关系

冯 飞, 张钦弟, 白 聪, 毕润成*

(山西师范大学 生命科学院, 山西 临汾 041004)

摘 要: 以 68 个灌木样方的重要值矩阵和 2×2 列表为基础, 结合实地调查, 应用方差比率法、 χ^2 检验、Pearson 相关系数及 Spearman 秩相关系数法, 对云丘山地区灌木群落的 20 个优势种、190 个种对的关联性进行了定量研究。方差比率法结果表明, 20 个优势种总体间关联为显著正相关, 云丘山地区的灌木群落处于较稳定的状态; χ^2 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数结果表明, 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, 群落结构及其种类组成将逐渐趋于完善和稳定; 根据这 20 个优势种对环境的适应方式和主导生态因素辅助以 PCA 排序, 可将它们划分为两种生态种组。以上结果揭示了该地区主要优势物种与环境的相互关系。

关键词: 云丘山; 种间关系; 生态种组

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2014)01-0062-06

Interspecific relationship of dominant shrub species in Yunqiu Mountain area

FENG Fei, ZHANG Qin-Di, BAI Cong, BI Run-Cheng*

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

Abstract: With important value matrix and 2×2 list of 69 shrub samples as the foundation, with variance ratio method, χ^2 -test, Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient and real station, the relevance of 20 dominant species and 190 species pairs were studied in Yunqiu Mountain area. The results of variance ratio showed that 20 dominant species overall displayed significant positive correlation. The community structure and species composition would gradually tend to perfect and stable. The χ^2 -test, Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient showed that most of the species pairs association did not reach significant level, species correlation were relatively loose. And it showed that the shrub community was the stable in Yunqiu mountain area. According to the adaptation way of 20 dominant population to the environment and leading ecological factors aided by PCA sorting, they were divided into two ecological species group, which revealed the dominant species of the region's major relationship with the environment.

Key words: Yunqiu Mountain; interspecific relationship; ecological species group

云丘山位于山西南部, 地处乡宁、稷山和新绛三县的交汇处, 由于长期存在人类活动的干扰, 高大乔木林并不多见; 近年来该地区进行旅游开发, 进一步扩大了人为干扰因素对于当地植被的影响。本文拟

通过该地区优势种种间关系的研究, 为该地区群落的结构和演替、生物多样性研究、濒危物种保护和旅游景区的评价与管理方面提供理论依据。

种间联结是指不同物种在空间分布上的相互关

收稿日期: 2013-08-29 修回日期: 2013-10-26

基金项目: 山西省化学优势重点学科建设项目(912019)

作者简介: 冯飞(1988-), 男, 山西朔州人, 硕士, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) fengf1988@126.com。

*通讯作者: 毕润成, 硕士, 教授, 主要从事植物生态学研究, (E-mail) sxrcbi@126.com。

关联性,通常是由于群落生境的差异影响了物种分布而引起的,是对各个物种在不同生境中相互影响、相互作用所形成的有机联系的反映,它表示种间相互吸引或排斥的性质(王乃江等,2010)。种间联结通常以物种的存在与否为依据,作为两个物种出现的相似性尺度,是一种定性的数据;种间相关是指不同种类在空间分布上的相互关联性,还涉及物种的数量对比关系,是一种定量关系(简敏菲等,2009)。种间联结的测定为客观认识自然种群提供了一种较好的方法,对于正确认识群落的结构和功能、群落的组成和动态有着重要的指导意义,并能为森林经营、自然植被恢复和生物多样性保护提供理论依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

本研究区位于吕梁山南段的中低土石山区,坐标为 $35^{\circ}44'39''\sim 35^{\circ}45'50''$ N, $110^{\circ}59'32''\sim 111^{\circ}01'39''$ E,地处乡宁、稷山和新绛三县的交汇处,海拔为 650~1 580 m,相对高差为 930 m(李晋鹏,2008)。属于暖温带大陆季风气候,年平均气温 9.9°C ,1 月平均气温为 -4.6°C ,7 月平均气温为 21°C ,最热日与最冷日平均气温之差为 25.6°C 。年平均日照时数 2 000 h,无霜期年平均约 150 d,年平均降水量为 570 mm,雨量多集中在 6—9 月。土壤自下而上分别为山地粗骨性褐土、山地褐土、山地淋溶褐土(马子清等,2001)。该地区的主要植被类型以灌木或小乔木为主,木本植物主要有白皮松(*Pinus bungeana*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、槲子栎(*Quercus baronii*)等,也不乏一些国家级保护植物如翅果油树(*Elaeagnus mollis*)和穿龙薯蓣(*Dioscorea nipponica*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样方调查 于 2012 年 8 月在山西云丘地区进行野外调查,针对不同的生境、不同的群丛类型,确定有代表性的灌木群落进行调查。物种间的相互作用具有一定的空间范围,一旦超过此界限,它们就不再具有相互作用。在温带落叶阔叶林内,由于物种数目和群落结构比较少和简单,根据种—面积关系可知当其最小样地面积为 25 m^2 时能表现群落的全部特点,因此,本研究的取样面积为 25 m^2 。按照海拔每升高 100 m 设置 1~4 个样方。共设置 68 个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的灌木样方。记录样方内所有灌木层植

物的种名、株数、胸径、高度、冠幅等,把胸径小于 5 cm,高度小于 3 m 的乔木幼树归为灌木。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。共调查物种 52 种。

1.2.2 数据处理 由于植物种类较多,为了计算方便,选取重要值 >1 的物种作为优势种,得到 20 个灌木优势种(表 1)进行生态位和种间联结性的计算和分析,其中乔木幼树 8 种,灌木 12 种。

表 1 20 种植物的编号及重要值
Table 1 Names, number and important values of 20 shrub species

编号 No.	物种名 Species	重要值 IV
1	槲子栎 <i>Quercus baronii</i>	10.139
2	荆条 <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i>	7.057
3	构树 <i>Broussonetia papyifera</i>	5.120
4	陕西荚蒾 <i>Viburnum schensianum</i>	4.001
5	黄刺玫 <i>Rosa xanthina</i>	3.715
6	臭椿 <i>Ailanthus altissima</i>	3.674
7	黄桫 <i>Cotinus coggygria</i>	3.283
8	连翘 <i>Forsythia suspensa</i>	3.246
9	水栒子 <i>Cotoneaster multiflorus</i>	2.400
10	山桃 <i>Prunus davidiana</i>	2.070
11	泡桐 <i>Paulownia elongata</i>	1.965
12	六道木 <i>Zabelia biflora</i>	1.617
13	翅果油 <i>Elaeagnus mollis</i>	1.525
14	毛榛子 <i>Corylus mandshurica</i>	1.433
15	酸枣 <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i>	1.387
16	侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	1.144
17	牛奶子 <i>Elaeagnus umbellata</i>	1.138
18	榆树 <i>Ulmus pumila</i>	1.127
19	栾树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	1.029
20	鹅耳枥 <i>Carpinus turczaninowii</i>	1.010

(1) 总体关联性: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)(Schluter, 1984),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;杨晓东等,2010)。计算公式如下:

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

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

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

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

式中, S_T 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, $t = (T_1 + T_2 + \dots + T_n) / N$ 。

(2) 种间联结性: 种间联结一般采用 χ^2 检验进行定性研究, 根据 2×2 列联表的 χ^2 统计量测定成对种间的联结性(Dice, 1945), 将重要值数据转化为 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 2×2 列联表, 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 χ^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 为总样方数; 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。

当某一物种的频率为 100% 时, b 、 d 值均为 0, 这样就无法做 χ^2 检验。所以, 应给该种一个加权值, 令式中的 b 、 d 值均为 1, 就可以较客观地反映 2 个种的联结情况(王伯荪等, 1985)。

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

2 结果与分析

2.1 主要物种间总体关联

根据 20 个主要物种的存在与否的二元矩阵, 计算出云丘山灌木群落的总体关联性(表 4)。

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 = 1.62 > 1$$

说明 20 个物种间表现出显著正联结。对以上测定结果用统计量 W 检测 VR 值偏离 1 的显著性。

$$W = N \times (VR) = 111.44$$

经过计算得到相应的 χ^2 值, $\chi_{0.95(68)}^2 = 50.02$, $\chi_{0.05(68)}^2 = 88.25$, W 大于 $\chi_{0.05(68)}^2$, 说明 20 个主要物

种之间在总体关联程度上表现出显著正相关, 组成该群落的灌木对环境的要求是有一定的一致性, 大多数物种和生长的外环境是相适应的。云丘山灌木群落的生境一般为干旱瘠薄的山地褐土, 土层较薄(马子清, 2001), 灌丛长期适应这种干旱贫瘠的外环境与其形成了一个协调、统一的整体, 反映出云丘山灌木群落处于较稳定的顶级阶段, 群落结构及其组成将逐渐趋于完善和稳定, 种间关系也将向正相关发展。

表 4 种间主要种群间的总体连接性

Table 4 Macro-association among the populations of 27 dominant shrub species

S_T^2	δ_T^2	方差比率 VR	检验统计量 W	χ^2 的临界值		测定结果 Result
				$\chi_{0.95(68)}^2$	$\chi_{0.05(68)}^2$	
4.83	2.99	1.62	111.44	50.02	88.25	显著

2.2 关联性分析

根据 Yates 公式校正后的 χ^2 检验值(图 1), 检验结果显示, 20 个主要物种间, 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。其中, 有 85 对表现为正关联, 占 44.7%, 极显著正关联的有 11 对, 显著正相关 8 对, 极显著、显著正关联的种对占总对数的 10%。有 101 对表现为负关联, 占 53.2%, 其中极显著负关联的有 5 对, 显著负关联的有 3 对, 极显著、显著负相关的种对占总对数的 4.2%。正负比为 0.85。还有 4 对表现出无关联。检验中负关联种对居多, 表明这 20 个主要物种的生态要求和对环境的需求有一定的差异性。极显著、显著的关联种对只有 27 对, 仅占总对数的 14.21%, 说明虽然物种间的互相依赖程度低、对资源的竞争程度不强, 仅有个别物种存在着很强的依赖或竞争关系, 总体上群落中的优势种处于比较稳定状态。

利用 χ^2 检验来判断种间关联性, 首先要把原始重要值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)。因此, 在 2×2 列联表 χ^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、全面地反映出该地区主要物种之间的相互关联性。

Pearson 相关系数检验中, 190 个种对中大部分种间关联未达到显著程度, 种间联结较为松散, 这和 χ^2 检验的结果相一致。正相关的种对有 57 对, 占总数的 30%, 其中极显著正关联的有 15 对, 显著正关

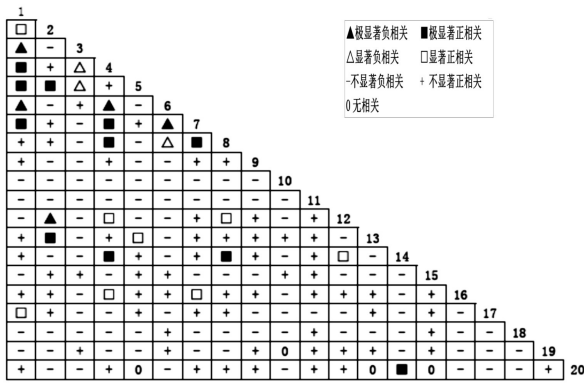


图 1 优势种群间种间关联性的 χ^2 检验半矩阵图
Fig. 1 Semi-matrix of interspecific correlation χ^2 -test of association of dominant shrub populations

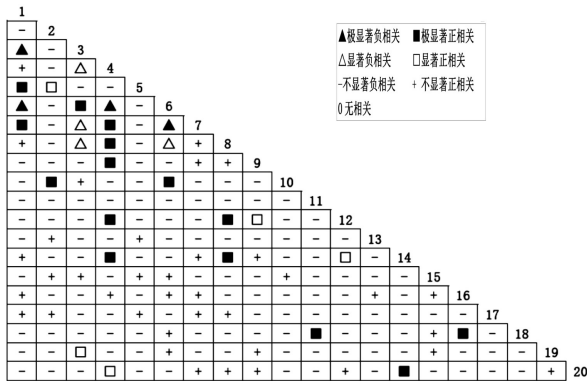


图 2 优势种群间的 Pearson 相关系数半矩阵图
Fig. 2 Semi-matrix of Pearson correlation coefficients of dominant shrub populations

联的有 5 对; 负相关的种对有 133 对, 占总数的 70%, 其中极显著负关联的有 4 对, 显著负关联的有 4 对。正负比为 0.43(图 2)。

Spearman 秩相关系数检验中, 20 个主要物种

表 5 χ^2 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的对比

Table 5 The χ^2 -test, Pearson's correlation coefficient and Spearman's rank correlation coefficient

检验方法 Test method	正相关 Positive correlation				负相关 Negative correlation			
	极显著 Extremely significant	显著 Significant	不显著 Insignificant	总数 Total	极显著 Extremely significant	显著 Significant	不显著 Insignificant	总数 Total
χ^2 检验	11	8	66	85	5	3	93	101
Pearson 相关系数	15	5	37	57	4	4	125	133
Spearman 秩相关系数	15	12	48	75	4	9	112	105

2.3 生态种组的划分

群落中生态习性相似的种可以联合为一生态种组。在同一生态种组的种, 具有较大的关联性和相关性, 对环境的适应能力、资源的利用能力, 对群落

的 190 个种对中, 有 75 对表现为正关联, 占 39.5%; 其中极显著正关联的有 15 对, 显著正关联的有 12 对, 占总对数的 14.2%。有 115 对表现为负关联, 占 60.5%; 其中极显著负关联的有 4 对, 显著负关联的有 9 对, 占总对数的 6.8%。正负比为 0.65(图 3)。

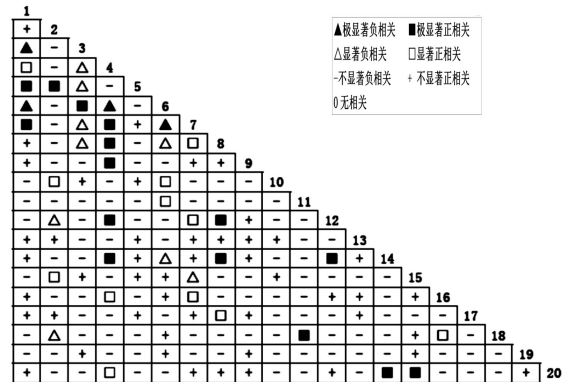


图 3 优势种群间的 Spearman 秩相关系数半矩阵图
Fig. 3 Semi-matrix of Spearman rank correlation coefficients of dominant shrub populations

对 χ^2 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的对比发现 Spearman 秩相关系数检验结果中, 显著与极显著的种对数皆高于 Pearson 相关系数检验结果, 说明 Spearman 秩相关系数较精确。对 χ^2 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的结果分析发现正相关种对数明显小于负相关的种对数, 说明 20 个优势种对间大多呈负相关, 20 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, 各物种以相互独立的关系求得资源的充分利用, 且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的发展, 保持群落整体的稳定性, 群落的成熟程度较高。

所起的功能作用等均有一致性。某一生态种组的缺失将会对群落的结构和功能产生重要的影响(李基才等, 2007)。

为了更真实的反映群落和种群的关系以及种群

对环境的主导生态因素的适应方式,综合 2×2 列联表 χ^2 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的结果,并根据 PCA 排序结果,结合物种种群的生态适应特性,将 20 个主要物种划分为 2 大生态种组(图 4)。

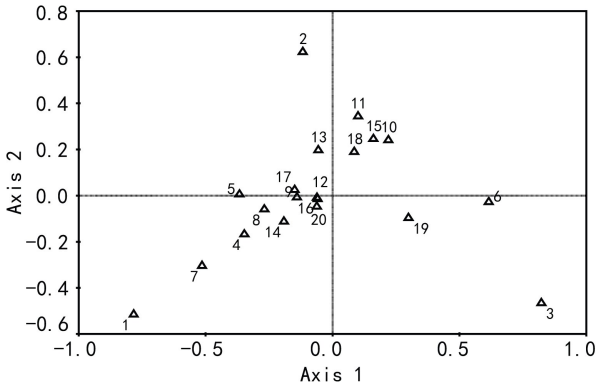


图 4 20 个主要物种 PCA 二维排序图

Fig. 4 Ordination of 20 dominant plant species on the first and second principal component axes

序号所代表植物见表 1。

I 榧子栎、黄刺玫生态种组:该组物种都为阳生植物,都对土壤要求不严,耐干旱和瘠薄,组内物种生态位重叠较高,多成显著或极显著正关联。它们大都分布于第 1 主成分轴的左侧。物种有榧子栎(1)、荆条(2)、陕西莨苳(4)、黄刺玫(5)、黄栌(7)、连翘(8)、水栒子(9)、六道木(12)、翅果油(13)、榛子(14)、侧柏(16)、牛奶子(17)、鹅耳枥(20)。

II 构树、臭椿生态种组:该组物种多数为高大乔木的幼树,多分布在林缘或林窗附近。种间关联不显著正相关,分布于第 1 主成分轴的右侧。包括有构树(3)、臭椿(6)、山桃(10)、泡桐(11)、酸枣(15)、榆树(18)、栎树(19)。

以上两个生态种组中,同一生态种组的物种间多呈正关联,不同生态种组的物种间多呈负关联。

3 结论与讨论

通过 χ^2 检验和 Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验结果表明:云丘山地区优势种主要存在正关联和负关联两种关系;正关联是因为群落中一些种对综合环境条件具有相同或相似的需求及适应性,使各物种之间能够相互兼容并且为对方提供良好的生存环境;负关联是由于它们对相同环境的

竞争导致两者相互排斥,互不兼容(王丽丽等, 2012)。 χ^2 检验结果定性的体现了多数物种生态要求和对环境的需求有一定的差异性;Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验结果则定量的体现了优势物种争夺有限的资源环境,产生竞争,使它们相互排斥、互不兼容;若它们间的竞争极强,会使得生态位的分离情况十分明显,形成显著负关联。

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(VR)、 χ^2 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验等方法,对云丘山灌木群落的主要物种间的相关性进行了检验。通过对检验结果比较,发现 χ^2 检验、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数检验的结果具有一致性,但也存在着差异: χ^2 检验的显著率 14.21%、Pearson 相关系数检验的显著率 14.73%、Spearman 秩相关系数检验的显著率 21.05%。这主要是由于, χ^2 检验是由种对的二元数据得来的,在转化过程中损失了大部分信息,只能做出定性的关联判断而无法量化这种关联的大小;Pearson 相关系数分析要求物种服从正态分布,分析的结果有一定的局限性;Spearman 秩相关分析是基于重要值定量数据的检验方法,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(郭志华等,1997)。因此在进行种间关系的研究时,要把 χ^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(白玉宏等,2012)。

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)。学界普遍认为,随着植被群落演替的进展,群落结构及其种类组成将逐渐趋于完善和稳定,种间关系也将同步趋于正相关,以求得多物种间的稳定共存,群落发育初期,物种间趋向于随机性。随着演替进展到中期,群落中物种间的关系随着种间竞争的不断加剧表现较强的正关联和负关联。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。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的重叠,对生境的需求较为一致。本文通过总体关联系数的研究发现云丘山灌木群落中物种间的总体关联性较强,但多数种对间关联程

度未达到显著水平; χ^2 检验分析、Pearson 相关分析、Spearman 秩相关分析检测结果的正负关联比均 < 1 , 暗示云丘山灌木群落在群落中具有一定的稳定性但处于动态的发展阶段之中, 有些群落仍具有明显的次生性或正处于演替前期阶段。随着演替进行, 正负关联比将发生一定的变化, 负联结比例将随演替进程下降, 而无联结比例可能大幅上升, 物种趋向独立分布。事实上, 云丘山部分植被群落是在遭受人类活动干扰之后而形成的次生植被。因此, 在未来相当长的时间应关注对云丘山地区灌木植被的保护和管理, 使其群落达到一定的稳定状态。

物种对环境需求的异同是造成种间联结性的重要因素, 研究种间关联性常常需要解释物种分布与环境因子的关系, 进而揭示群落的演替规律。生态种组的划分在一定程度上可以通过物种特性来反映出不同物种对不同微环境的适应情况。

参考文献:

马子清, 上官铁梁, 滕崇德. 2001. 山西植被[M]. 北京: 中国科学技术出版社

王金屯. 2004. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社

Bai YH(白玉宏), Bi RC(毕润成), Zhang QD(张钦弟). 2012. Interspecific relationship of woody plants in *Quercus wutaishanica* community in Wulu Mountain Nature Reserve, Shanxi Province of China: a quantitative analysis(山西五鹿山自然保护区辽东栎群落木本植物种间数量关系)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **31**(8): 1 942—1 948

Dice LR. 1945. Measure of the amount of ecologic association between species[J]. *Ecology*, **26**: 297—302

Guo ZH(郭志华), Zhuo ZD(卓正大), Cheng H(陈洁), et al. 1997. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broad leaved forest in Lushan Mountain(庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **21**(5): 424—432

Jian MF(简敏菲), Liu QJ(刘琪璠), Zhu D(朱笃), et al. 2009. Inter-specific correlations among dominant populations of tree layer species in evergreen broad-leaved forest in Jiulianshan Mountain of subtropical China(九连山常绿阔叶林乔木优势种群的种间关联性分析)[J]. *Chin J Plant Ecol*(植物生态学报), **33**(4): 672—680

Li JC(李基才), Li X(李霞), Chen JF(陈敬峰). 2007. The Composition of plant community and the main species relation in the

lower reaches of Tarim River(塔里木河下游植物群落组成及主要种间关系研究)[J]. *J Arid Land Res Environ*(干旱区资源与环境), **21**(9): 123—127

Li JP(李晋鹏), Guo DG(郭东罡), Zhang QH(张秋华), et al. 2008. Ecological gradients of plant communities in south Luliang Mountains of Shanxi(山西吕梁山南端植物群落的生态梯度)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **27**(11): 1 841—846

Lin WQ(林伟强), Liu HM(刘惠明), Zhang L(张璐). 2004. Studies on the interspecific association of dominant populations of the secondary forest community in Maofengshan, Guangzhou(广州帽峰山次生林主要种群种间联结性研究)[J]. *Ecol Sci*(生态科学), **23**(1): 42—46

Schluter D. 1984. A variancetest for detecting species associations, with some example applications[J]. *Ecology*, **65**: 998—1 005

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 1. 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 Phytoecol Et 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), **4**(8): 1 435—1 440

Wang LL(王丽丽), Bi RC(毕润成), Yan M(闫明). 2012. An analysis of interspecific association of species in tree layer of *Pinus bungeana* community in Wulu Mountain of Shanxi(山西五鹿山白皮松群落乔木层的种间关联性分析)[J]. *Guihaia*(广西植物), **32**(1): 63—68

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

Zhou XY(周先叶), Wang BS(王伯荪), Li MG(李鸣光), et al. 2000. An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve Guangdong Province(广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中群落的种间联结性分析)[J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), **24**(3): 332—339