

太白山独叶草及其伴生种的种间关联研究

刘喆, 岳明*

(西北大学生命科学学院, 西部资源生物与现代生物技术省部共建教育部重点实验室, 西安 710069)

摘要: 基于 2×2 列联表, 通过一系列种间关联测定方法[方差比率(variance ratio)法检验多物种间总体关联性, χ^2 检验各种对之间的关联性, 关联指数(Ochiai, Dice, Jaccard)测度各种对之间的关联程度]对太白山独叶草及 16 种伴生植物, 共 136 个种对的种间关联分别进行检验与测度。结果表明: 独叶草及其伴生种的总体关联表现为显著正关联, 17 个种对呈极显著正关联($p < 0.01$), 6 个种对表现为显著正关联($p < 0.05$), 6 个种对呈极显著负关联($p < 0.01$), 3 个种对表现为显著负关联($p < 0.05$)。多数种对关联程度较低, 仅有 7 个种对正关联 Ochiai 指数高于 0.5, 说明物种各自趋于独立。这种“松散”的状况可能与群落的发展阶段和物种的生态学特性有关。

关键词: 独叶草; 种间关联; 2×2 列联表; χ^2 检验; 关联指数

中图分类号: Q948.12+2.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-470X(2007)05-0445-06

Studies on the Interspecific Association among the *Kingdonia uniflora* and Its Companion Species in Taibai Mt.

LIU Zhe, YUE Ming*

(Key Laboratory of Resource Biology and Biotechnology in Western China, Ministry of Education,
College of Life Sciences, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: *Kingdonia uniflora* is one kind of the endemic species in China. Based upon a 2×2 contingency table, a series of techniques including analysis of variance ratio for testing the overall association of all species, χ^2 -test for testing the property of the interspecific association and association indices (Ochiai, Dice, Jaccard) for showing relationship degree of the interspecific association, were used to determine and measure the interspecific association among the 136 species-pair of *Kingdonia uniflora* and its 16 companion species. The results indicated that the overall association of all species is significantly positive. All species-pair were checked by χ^2 -test, in which 17 species-pair were observed to have very significant positive association at 0.01, 6 species-pair at 0.05 and 6 species-pair revealed very significant negative association at 0.01, 3 species-pair at 0.05. All species-pair were also checked by Ochiai index, majorities of species-pair were lower, and just 7 positive association species-pair overtop 0.5. These reflect the independence of species-pair. The loose interspecific association is possibly related to the development stage of communities and ecological features of species.

Key words: *Kingdonia uniflora*; Interspecific association; 2×2 contingency table; χ^2 -test; Association index

森林群落中植物种之间的联结性或称种间关联(interspecific association)是群落的重要数量和结构指标,是群落结构的形成和演化的重要基础,也是群落分类的依据,在群落学中具有重要地位^[1]。关联分析(association analysis)作为判断物种之间可能存在相互作用的一种方法,一直为生态学家尤其是群落生态学家所青睐。近年来,国内在植被类型优势种的种间关联性方面作了大量的研究^[2-6]。独叶草

(*Kingdonia uniflora*)属于毛茛科独叶草属多年生草本植物,是我国特有的单种属植物,呈斑块状分布于云南(德钦)、四川(峨眉山、马尔康、九寨沟)、陕西(太白山及其周边地区)和甘肃(舟曲)四省的局部地区。该物种起源古老,系统位置孤立,分布区极为狭小,对生境的要求较为苛刻,已经被列为国家重点保护植物^[7]和中国生物多样性的关键类群^[8]。自上世纪 50 年代起,研究人员对独叶草的形态学、解

收稿日期: 2007-03-22, 修回日期: 2007-05-14。

基金项目: 陕西省自然科学基金资助项目(2000SM17); 陕西省教育厅自然科学专项基金资助项目(07JK407)。

作者简介: 刘喆(1978-), 女, 硕士研究生, 主要从事植物生态学研究(E-mail: jessiezhe2000@yahoo.com.cn; jessiezhe@163.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: yueming@nwwu.edu.cn)。

剖学、系统学、繁殖生物学等方面进行了大量深入细致的研究^[9-11],在此基础上初步确定了该植物的系统位置。近年来,我国学者在独叶草种群生态学及保护生物学方面也进行了不少研究^[12-14],然而对独叶草及其伴生种种间关联的研究尚未见报道。本试验以 2×2 列联表为基础,采用一系列种间关联测定方法对独叶草及其伴生植物种间关系进行了研究,旨在确定种间关系,深入了解种对间的相互作用,为进一步保护和管理太白山地区独叶草资源提供理论依据。

1 研究方法

1.1 调查地自然概况

调查地位于陕西省秦岭中段太白山国家森林公园(33°49'31"~34°08'11"N,107°41'23"~107°51'40"E),据资料显示^[15-17],独叶草分布在红桦坪、平安寺、明星寺、斗母宫、放羊寺、下板寺、上板寺、药王池、南天门、水蒿子、桂花池、石垭子、草坪等处,较集中分布在海拔 2500~3200 m 地段,此地植被类型主要是以牛皮桦(*Betula utilis*)、巴山冷杉(*Abies fargesii*)和太白红杉(*Larix chinensis*)组成的纯林或混交林。该区域属亚寒带气候,群落郁闭度为 0.3~0.8,林内阴暗潮湿,年均降水量 800~900 mm,平均相对湿度 83%,年均气温在 -1~2℃,无霜期 121 d。土壤为酸性山地暗棕壤和亚高山暗色草甸森林土,土壤冻结期 7~8 个月,腐殖质层深厚。林下灌木主要由蔷薇科、忍冬科及杜鹃花科植物组成,草本层主要由毛茛科、菊科、莎草科植物组成,如大叶碎米荠(*Cardamine macrophylla*)、筋骨草(*Ajuga cliata*)、小花风毛菊(*Saussurea digantha* var. *parviflora*)、大花糙苏(*Phlomis megalatha*)等。

1.2 取样方法

根据太白山独叶草(*Kingdonia uniflora*)分布情况,选取红桦坪(海拔 2500 m),下板寺(海拔 2800 m),上板寺(海拔 3100 m)三处独叶草集中分布地段。由于独叶草生境群落上层乔灌木种类组成比较均一,所以本研究仅考虑其与其他草本植物的关联。此外,考虑到独叶草为典型的根茎繁殖植物,无性系分株个体很小,每个分株上仅生有一片叶子,分布又比较零散,因此以直径 36.5 cm 的标准样圆(0.1 m²)来取样。在各海拔分别取样 65、70、65 个,共计取样 200 个,计数落在样圆内的草本植物种类。同时,对各样地的海拔高度、坡度、坡向、坡位、林分郁闭度、空气温湿度及土壤条件等也进行了测定。

1.3 数据处理

种间关联研究包括两方面内容,一是在一定的置信水平上总体关联性检验和各种对间关联性检验;二是测定关联程度的大小。对野外调查原始数据进行整理,在调查的 200 个样圆中,记录到 25 个种。剔除频度 <5% 的偶见种后,得到 17 个主要物种(见表 1)。

表 1 物种列表
Table 1 List of species

| 序号 No. | 种名 Species | 序号 No. | 种名 Species |
|-----------|--|-----------|---------------------------------------|
| 1 | 独叶草 <i>Kingdonia uniflora</i> | 10 | 重楼 <i>Paris polyphylla</i> |
| 2 | 裸茎碎米荠 <i>Cardamine scaposa</i> | 11 | 大叶碎米荠 <i>Cardamine macrophylla</i> |
| 3 | 黄囊苔草 <i>Carex korshinskii</i> | 12 | 小银莲花 <i>Anemone exigua</i> |
| 4 | 毛状苔草 <i>C. capilliformis</i> | 13 | 山酢浆 <i>Oxylis griffithii</i> |
| 5 | 深圆齿堇菜 <i>Viola davidii</i> | 14 | 东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i> |
| 6 | 菱形茜芹 <i>Pimpinella rhomboidea</i> | 15 | 鹿蹄草 <i>Pyrola rotundifolia</i> |
| 7 | 矮变豆菜 <i>Sanicula hacquetioides</i> | 16 | 珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i> |
| 8 | 孩儿参 <i>Pseudostellaria heterophylla</i> | 17 | 繁缕 <i>Stellaria media</i> |
| 9 | 玉竹 <i>Polygonatum odoratum</i> | | |

1.3.1 多物种间的总体关联性检验

用 Schluer 提出的由零联结模型(null association model)^[18]导出方差比率(variance ratio, VR)法检验多物种间的总体关联性,说明在某地出现的多物种种间是否存在显著的关联性。计算公式为:

$$\delta_r^2 = \sum_{i=1}^s P_i(1 - P_i) \tag{1}$$

$$P_i = n_i / N \tag{2}$$

$$S_r^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \tag{3}$$

$$VR = S_r^2 / \delta_r^2 \tag{4}$$

式中 S 为总物种数, N 为总样圆数, T_j 为样圆 j 内出现的研究物种的总数, n_i 为物种 i 出现的样圆数, t 为样圆中种的平均数, P_i 为物种 i 出现的样圆数占总样圆数的比例。

在独立性假设条件下 VR 期望值为 1, 若 VR > 1, 表示物种间表现出正关联; 若 VR < 1, 表示物种间表现出负关联。由于种间的正负关联可以相互抵消, 因此采用统计量 W (W = VR · N) 来检验 VR 值偏离 1 的显著程度。若物种不显著相关联, 则 W 落入由下面 X² 分布给出的界限内的概率有 90%: X²_{0.95, N} < W < X²_{0.05, N}。

1.3.2 种间关联性检验

基于 2×2 列联表的 X^2 统计量被用来检测成对物种间的关联性,公式为:

$$X^2 = \frac{(ad - bc)^2 n}{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)} \quad (5)$$

式中: n 为取样总数, a 为任意两物种均出现的样方数; 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(以下同)。当 $ad > bc$ 时为正关联, $ad < bc$ 时为负关联。

在下列两种情况下, X^2 值被认为有偏差: ① 2×2 列联表中任意一小格期望值小于 1; ② 多于两个小格的期望值小于 5。这种偏差可以用 Yates 的连续校正系数来纠正^[19]。

Yates 系数纠正公式为:

$$X^2_i = \frac{(|ad - bc| - 0.5n)^2 n}{(a + b)(a + c)(b + d)(c + d)} \quad (6)$$

2×2 列联表的自由度为 1, 若 $3.841 < X^2_i < 6.635$ ($0.01 < p < 0.05$), 则表示种对间关联性显著, 若 $X^2_i > 6.635$ ($p < 0.01$), 表示种对间关联性极显著。

1.3.3 种间关联程度的测定

种间联结性的 X^2 检验, 较精确地刻划了种对间关联的显著程度, 提供了判断种间联结显著性的定量指标。但对于种间联结显著性的研究, 仅用 X^2 检验的方法是不够的, 因为 X^2 检验仅得出了关联性显著与否的结论, 而那些经检验不显著的种对间, 并不意味着它们之间不存在关联性。此外, X^2 检验不能区分联结强度的大小, 模糊了种间关联性之间的差异性。因此, 在对种间关联性作 X^2 检验后, 需要进一步测定其关联强度。本研究采用以下 3 个无负值在 0 与 1 之间变化的无中心指数(noncentred indices)来表示种对相伴出现的几率和联结性程度, 其值愈高, 物种对同时出现的几率愈大, 但并非一定表示正关联。3 个指数均在“无关联”时等于 0, 在“最大关联”时为 1。测定 a, b, c 值含义同上。

$$\text{Ochiai 指数: } OI = \frac{a}{\sqrt{a + b} \sqrt{a + c}} \quad (7)$$

$$\text{Dice 指数: } DI = \frac{2a}{2a + b + c} \quad (8)$$

$$\text{Jaccard 指数: } JI = \frac{a}{a + b + c} \quad (9)$$

2 结果与分析

2.1 多物种间的总体关联性检验

表 2 分析结果表明, 独叶草及其伴生种的种间

总体关联性的方差值 $VR = 8.74 > 1$, 检验统计量 $W = 1748.738$, 没有落入 $(X^2_{0.95, N}, X^2_{0.05, N})$ 数据范围, 即说明 VR 偏离 1 显著。可见所测的 17 个物种的种间整体表现出显著的正关联性。这表明在独叶草生长的群落中一些种的存在对另一些种是有利的。据我们野外观察, 独叶草在林下阴暗潮湿、光照极为微弱的微环境中生长良好。黄囊苔草和毛状苔草大多生长在林下大块岩石遮荫下的小生境或有藓类植物覆盖、土壤腐殖质较厚的地方, 它们可以遮蔽来自林隙中的直射光, 从而为独叶草提供了良好的定居和生长环境, 可与独叶草共享资源。

表 2 太白山独叶草及其伴生种的种间总体关联性
Table 2 The overall association among the *Kingdonia uniflora* and its companion species in Taibai Mt.

| 系数 Coef- ficient | δ^2_T | S^2_T | 方差比率 Variance ratio (VR) | 统计量 W Statistic W | 显著性 Significant | 总体关联性 Overall association |
|--------------------------|--------------|---------|--------------------------------|--------------------------|--------------------|---|
| 测度值 Computed value | 2.94 | 25.68 | 8.74 | 1748.74 | $p < 0.05$ | 显著正关联 Significant positive association |

种间总体关联性反映了群落的稳定性。一般来说, 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^[20]。独叶草及其伴生种种间整体呈现出的正关联关系, 说明这些物种所组成的群落基本上已处在一个相对稳定的状态。这与刘世彪等^[21]五柱纹股蓝群落主要伴生种的种间关联性研究结果一致。

2.2 种间关联性检验

图 1 为 Yates 系数纠正后的 X^2 检验值半矩阵图。由图 1 可知, 正关联种对为 69 对, 占总种对数 50.7%; 负关联种对为 67 对, 占总种对数 49.3%, 正负关联比为 1.03。种对间呈正关联, 主要是由于它们具有相近的生物学特性, 对生境具有相似的生态适应性和相互重叠的生态位所致; 种对间的负关联, 则主要是由于它们具有不同的生物学特性, 对生境具有不同的生态适应性和相互分离的生态位所致^[22]。与独叶草呈正关联的物种有黄囊苔草(种 3, 编号参见表 1, 下同)、毛状苔草(种 4)、深圆齿堇菜(种 5)、矮变豆菜(种 7)、玉竹(种 9)、重楼(种 10)、大叶碎米荠(种 11)、珠芽蓼(种 16), 它们的适应特性往往表现为相似的特点, 如黄囊苔草、毛状苔草、大叶碎米荠、重楼与独叶草, 它们的生活习性都要求生长在林下较为荫蔽、潮湿、腐殖质层深厚的环境中。菱形茵芹(种 6)、孩儿参(种 8)、小银莲花(种 12)、山酢浆(种 13)、东方草莓(种 14)、鹿蹄草

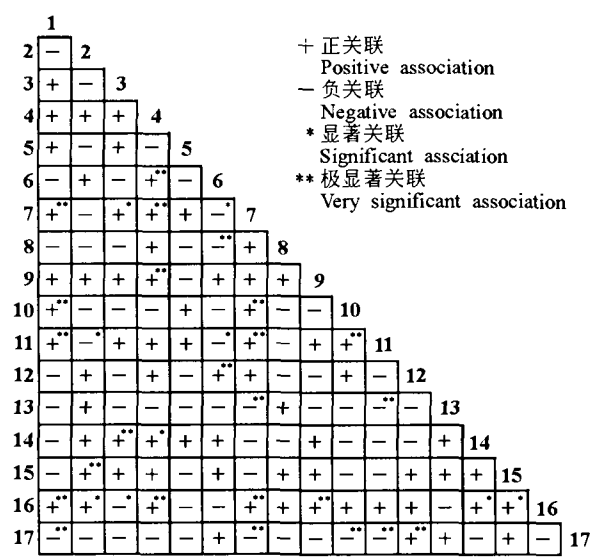


图 1 太白山独叶草及其伴生种种间关联的校正 X^2 检验值半矩阵图 (物种编号与表 1 一致)
Fig. 1 Semi-matrix of X^2 correction test of interspecific association among the *Kingdonia uniflora* and its companion species in Taibai Mt. (The number of species is consistent with Table 1)

(种 15) 分别与独叶草的关系也趋于分离, 但均未达到显著水平 ($p > 0.05$)。可以解释为: 由于独叶草对空间的占据, 使得菱形茴芹、孩儿参、小银莲花、山酢浆、东方草莓、鹿蹄草这些物种只能分布在独叶草聚块以外的空地。从目前情况来看, 这些物种与独叶草的相互竞争不是很激烈, 但是由于生态位的重叠, 一定时期之后可能会发生相互分离, 相互排斥。

从图 2 可见, 除深圆齿堇菜 (种 5) 与其它物种无显著关联外, 其余 16 个物种中有 6 个种对呈显著正关联 ($p < 0.05$), 占总种对数的 4.41%; 17 个种对呈极显著正关联 ($p < 0.01$), 占总种对数的 12.5%; 3 个种对呈显著负关联 ($p < 0.05$), 6 个种对呈极显著负关联 ($p < 0.01$)。呈显著和极显著的种对数占总对数的比率较小, 说明种间虽具有一定的联结性, 但仍存在相当的独立分布格局。正联结达到显著水平的有 23 个种对, 远远大于负联结显著的 9 个种对, 反映出种对间相互作用的存在, 并对一方或双方有利的情形占主导地位, 这也与多物种间总关联性检验结果一致。种间显著的正联结性或负联结性都可反映两物种之间的特定关系, 这种特定关系的产生通常认为有下列几个原因: 其一, 相似 (正联结) 与不相似 (负联结) 的环境需要; 其二, 一个种为另一个种创造了定居条件或者前者对后者施加了压力造成正联结; 其三, 两者在竞争资源中相互排斥造成负联结; 其四, 两者在根系中通过物理或化学因素相

互影响也可造成正联结或负联结^[20,23]。从图 2 可看出, 独叶草与矮变豆菜 (种 7)、重楼 (种 10)、大叶碎米荠 (种 11)、珠芽蓼 (种 16) 呈极显著正关联 ($p < 0.01$), 这可能是因为它们的生态学特征以及对环境需求的一致性 (土壤潮湿、肥沃程度), 使各物种之间相互兼容, 互相促进生长, 相互为对方提供良好的生存环境。同时, 独叶草与繁缕 (种 17) 呈极显著负关联, 分析其原因, 一方面可能是它们对微环境的需求不太一致, 生态位重叠的机会小; 另一方面繁缕常成单一的片状蔓延于地上, 这对于以“稀疏游击型”为无性系克隆构型的独叶草的生长有一定限制作用。两者会争夺有限的环境营养空间和资源, 从而产生极强的竞争, 使两者互不兼容, 相互排斥, 因而分离情况十分明显。

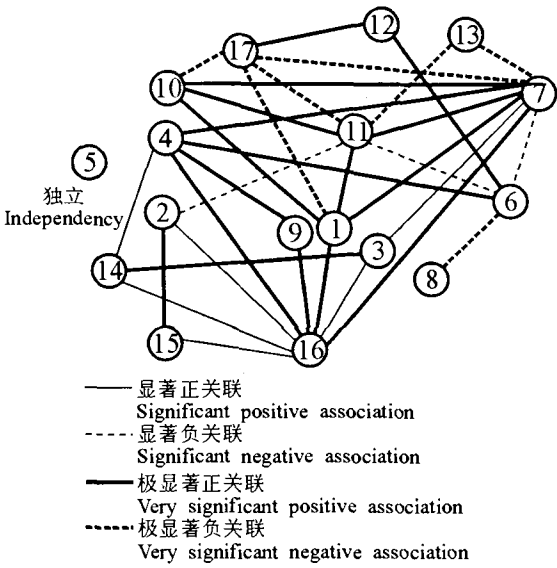


图 2 太白山独叶草种及其伴生种的种间关联星座图 (物种编号与表 1 一致)
Fig. 2 Constellation diagrams showing interspecific associations among the companion species of *K. uniflora* population in Taibai Mt. (The number of species is consistent with Table 1)

因此, 要切实保护独叶草这一濒危物种, 首先, 应保护天然资源, 促进其自然更新; 其次, 需对独叶草所在微环境中的环境因子进行深入研究; 最后, 在保护独叶草的同时也应加强对其它物种的保护, 尤其是那些与其呈极显著正关联的物种, 使物种间建立起长期稳定的互惠共生关系。对与独叶草强烈竞争资源的物种, 需采取有效措施控制其生长和繁殖。

2.3 关联程度

Ochiai 指数、Dice 指数和 Jaccard 指数都用来描述种对间的关联程度。独叶草及其伴生种组成的 136 个种对的 Ochiai 指数半矩阵见图 3。从图 3 可

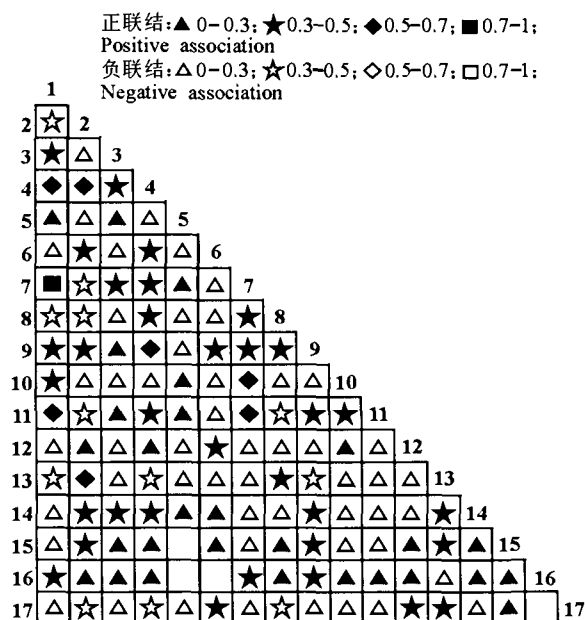


图3 太白山独叶草及其伴生种的种间 Ochiai 关联指数半矩阵图(物种编号与表1一致)

Fig.3 Semi-matrix of Ochiai association index for the *K. uniflora* and its companion species in Taibai Mt. (The number of species is consistent with Table 1)

以看出,除组合 5-15,5-16,6-16 及 16-17 外,其它所有种对都存在一定的关联性。其中,种对 1-7(独叶草-矮变豆菜)的联结程度最高, OI 指数达到 0.7 以上。正关联 OI 指数在 0.5~0.7 之间有 7 个种对,说明这些种对的联结程度也较高,其它种对的联结程度则较低, OI 指数值在 0.5 以下的种对共有 61 对,占总对数的 44.9%,表明超过 1/3 的种对之间关联度较低,存在相当的独立分布格局。负关联 OI 指数值在 0.5 以下的种对有 62 对,种对关联度同样较低。Dice 指数、Jaccard 指数与 Ochiai 指数大体一致,分析结果未在文中显示。

种间关联性检验与种间关联度测定是进行种间关联性研究不可缺少的两个方面,它们既相互联系,相互补充,同时又是相互区别的,高的关联度并不意味着显著的关联性,反之亦然。分析图 1,图 2,图 3 可知,种对 1-7(独叶草-矮变豆菜)呈极显著正关联($X^2 = 73.876, p < 0.01$),种对 OI 值为 0.748,关联度较高。种对 1-11(独叶草-大叶碎米荠)同样也反映出 X^2 检验中种间关联显著性越强, OI 关联指数也较高,这与李晶等^[24]对山西北部沙棘群落优势种种间关系的研究和王琳等^[25]对历山山地草甸优势种的种间关联研究结果一致。然而,值得注意的是,本研究中种对 2-13(裸茎碎米荠-山酢浆)的 OI 值较高为 0.633,但其关联性却不显著($X^2 = 1.66$,

$p > 0.05$),趋于各自独立出现。种对 1-17、种对 2-11 等也存在这种情况。郭相等^[26]在研究牛姆林区青钱柳群落的主要种群种间关联特征时,同样发现青钱柳+梨查群落的种对青钱柳-榄叶石栎关联度较高($OI = 0.743$),而联结性不显著($X^2 = 0.687, 0.25 < p < 0.75$)。可见,在研究种间关联时必须注意关联性检验和关联程度二者的区别和各自研究的侧重点,不可将关联性显著与否与关联度大小混为一谈。

3 结论

独叶草及其伴生种的种间关联性,总体来说呈正关联关系,8 个物种与独叶草呈正关联,其中达到极显著水平的有矮变豆菜、重楼、大叶碎米荠、珠芽蓼 4 个种。繁缕与独叶草呈极显著负关联。绝大多数种对未达到显著水平,只有少数种对表现出极显著正关联,多数种对间正关联强度低;负关联种对少于正关联种对,联结强度弱。这说明独叶草及其伴生种间虽然有大体一致的生态要求,但这种一致的资源利用方式并未导致种对间极强的竞争,即独叶草及其伴生种间还未出现资源危机,各物种相互依存,群落稳定发展。

致谢:感谢李育花在野外调查和物种鉴定方面给予的全力支持和无私帮助;感谢张少成、李震在数据分析方面给予的无私帮助;同时感谢林玥、任坚毅的积极配合和热情帮助。

参考文献:

- [1] 李新荣. 俄罗斯平原针阔叶混交林群落的灌木层植物种间关联研究[J]. 生态学报, 1999, 1(1): 55-56.
- [2] 金则新. 浙江仙居俞坑森林群落优势种群结构与分布格局研究[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(5): 383-389.
- [3] 胡理乐, 李新, 江明喜, 黄汉东, 满金山, 苏长江. 宣恩七姊妹山珙桐群落种间联结分析[J]. 武汉植物学研究, 2003, 21(3): 203-208.
- [4] 陶川. 梅子湖风景区森林群落种间联结性的研究[J]. 思茅师范高等专科学校学报, 2004, 20(3): 3-8.
- [5] 张桂萍, 张峰, 茹文明. 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]. 生态学报, 2005, 25(11): 2868-2874.
- [6] 张桂萍, 张峰, 茹文明. 山西绵山植被木本植物优势种群种间关联[J]. 生态学杂志, 2006, 25(3): 295-298.
- [7] 狄维忠, 于兆英. 陕西省第一批国家珍稀濒危保护植物[M]. 西安: 西北大学出版社, 1987. 72-75.
- [8] 陈灵芝. 中国的生物多样性现状及其保护对策[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 64-99.
- [9] 胡正海, 田兰馨. 独叶草形态学研究Ⅲ. 花、果实和种子的形态和解剖[J]. 植物分类学报, 1985, 23(3): 170-178.

- [10] Ren Y, Xiao Y P, Hu Z H. The morphological nature of the open dichotomous leaf venation of *Kingdonia* and *circaeaster* and its systematic implication[J]. *J Plant Res*, 1998, **111**: 225–230.
- [11] 雷永吉, 任琳, 李智军, 任毅. 独叶草营养繁殖方式的研究[J]. 西北植物学报, 2000, **20**(3): 432–435.
- [12] 李景侠, 张文辉, 李红. 稀有濒危植物独叶草种群分布格局的研究[J]. 西北植物学报, 2001, **21**(5): 879–884.
- [13] 张文辉, 李红, 李景侠, 卢志军, 刘国彬. 秦岭独叶草种群个体和构件生物量动态研究[J]. 应用生态学报, 2003, **14**(4): 530–534.
- [14] 张文辉, 李景侠, 李红, 刘祥君. 独叶草种群年龄结构及动态分析[J]. 应用生态学报, 2004, **15**(4): 561–565.
- [15] 黎邦永, 安里宁. 太白山自然保护区土壤考察报告[A]. 见: 李家骏主编. 太白山自然保护区综合考察论文集[C]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1989, 79.
- [16] 应俊生, 李云峰, 郭勤峰, 崔禾. 秦岭太白山地区的植物区系和植被[J]. 植物分类学报, 1990, **28**(4): 261–293.
- [17] 李景侠, 张文辉, 李红. 独叶草地理分布及生态学特性的研究[J]. 西北林学院学报, 2001, **16**(2): 1–4.
- [18] Schluter D. A variance test for detecting species association with some example application[J]. *Ecology*, 1984, **65**: 998–1005.
- [19] 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究 I——种间联结测试的探讨与修正[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, **9**(4): 274–285.
- [20] 周先叶, 王伯逊, 李鸣光, 管启杰. 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]. 植物生态学报, 2000, **24**(3): 332–339.
- [21] 刘世彪, 林永慧, 姜业芳. 五柱绞股蓝群落主要伴生种的种间关联性研究[J]. 亚热带植物科学, 2006, **35**(2): 27–30.
- [22] 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.
- [23] 郭志华, 卓正大, 陈洁, 吴梅凤. 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]. 植物生态学报, 1997, **21**(5): 424–432.
- [24] 李晶, 上官铁梁. 山西北部沙棘群落优势种种间关系[J]. 山地学报, 2006, **24**(2): 222–227.
- [25] 王琳, 张金屯. 历山山地草甸优势种的种间关联和相关分析[J]. 西北植物学报, 2004, **24**(8): 1435–1440.
- [26] 郭相亿, 李裕红, 林慧萍. 牛姆林区青钱柳群落的主要种群种间关联特征[J]. 福建林学院学报, 2001, **21**(2): 181–185.