

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201507020

引文格式: 周赛霞, 彭焱松, 丁剑敏, 等. 珍稀植物狭果秤锤树群落木本植物种间联结性及群落稳定性研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(4):442-448
ZHOU SX, PENG YS, DING JM, et al. Analysis on community stability and inter-specific correlations among dominant woody populations of the endangered plant *Sinojackia rehderiana* communities [J]. *Guihaia*, 2017, 37(4):442-448

珍稀植物狭果秤锤树群落木本植物 种间联结性及群落稳定性研究

周赛霞¹, 彭焱松¹, 丁剑敏¹, 高浦新^{1*}, 李国梁¹, 万萌¹, 吕芳²

(1. 江西省中国科学院庐山植物园, 江西 庐山 332900; 2. 江西省九江市庐山区农业局, 江西 九江 332005)

摘要: 在珍稀植物狭果秤锤树集中分布地设置 0.5 hm² 的固定样地, 采用相邻格子法进行野外调查, 在 2×2 联列表基础上, 运用 χ^2 和 W 检验, 联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)的种间联结性分析和 M. Godron 群落稳定性测定方法, 对狭果秤锤树群落中频度较高的 24 个木本植物优势种, 276 个种对间的联结性及群落稳定性进行了研究, 以评价狭果秤锤树这一稀有种群的种间关系及群落稳定性。联结性分析表明, 群落总体联结性 VR (方差比率) >1 , 检验统计量 $W \leq \chi_{0.05(50)}^2$, 显示群落木本种群间表现出净的正关联, 但未达到显著水平。联结性测定指标显示, 狭果秤锤树与大多种群关联不显著, 表现出相对独立性和随机性, 关系松散。群落稳定性比值为 35/65, 远离 20/80, 表明群落总体不稳定。狭果秤锤树群落尚未达到稳定阶段, 急需加强保护。在物种就地保护和回归实践中, 可选择和保护与之正联结的物种, 建立适宜的生存环境以达到更好的保护效果。
关键词: 狭果秤锤树, 2×2 联列表, 种群联结性, 群落稳定性

中图分类号: Q948.15 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2017)04-0442-07

Analysis on community stability and inter-specific correlations among dominant woody populations of the endangered plant *Sinojackia rehderiana* communities

ZHOU Sai-Xia¹, PENG Yan-Song¹, DING Jian-Min¹, GAO Pu-Xin^{1*},
LI Guo-Liang¹, WAN Meng¹, LÜ Fang²

(1. Lushan Botanical Garden, Jiangxi Province and Chinese Academy of Sciences, Lushan 332900, Jiangxi, China;

2. Lushan District Agricultural Bureau of Jiujiang City, Jiujiang 332005, Jiangxi, China)

Abstract: Populations of *Sinojackia rehderiana* are highly threatened and have small and scattered distribution due to habitat fragmentation and human activities. In the present study, we selected 24 dominant species according to frequency and studied interspecific associations and correlations using variance ratio (VR) analysis of the overall association, χ^2 and W tests, association coefficient, and percentage co-occurrence based on 2×2 contingency tables of species presence/absence data. In addition, we tested the level of community stability by using the Godron stability analysis. The results showed that the total community association of variance ratio was greater than one; the test statistic W was lower than

收稿日期: 2016-05-22 修回日期: 2016-07-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAC13B03); 国家自然科学基金(30760026); 江西省重大科技专项(20111BBB27001, 20116BCD40003) [Supported by the National Key Technology R & D Program of China (2011BAC13B03); National Natural Science Foundation of China (30760026); National Special Fund for Science and Technology of China (20111BBB27001, 20116BCD40003)].

作者简介: 周赛霞(1976-), 女, 湖北新洲人, 副研究员, 主要研究方向为植物保护和植被生态学, (E-mail) zhousaixia420@sohu.com。

*通信作者: 高浦新, 博士, 研究员, 主要从事保护生态学、分子生态与进化生物学研究 (E-mail) gaopuxin_3290@163.com。

$\chi^2_{0.05(50)}$, indicating that the species in the overall community were positively associated, but this association was not significant. When species pairs were analyzed, the associations of *S. rehderiana* with other plant species had no significant inter-specific associations and inter-specific correlations tended to be independent and random. Godron stability analysis showed that the ratios of cumulative inverse of species number to cumulated relative frequency was 35/65, distinctly different from 20/80. The ratios was far from the stability point, indicating that the whole community was unstable. The results indicated that the *S. rehderiana* community was not stable, and stronger protective measures were required. Therefore, species with positive associations should be chosen in situ and ex situ conservations in order to establish a suitable environment for *S. rehderiana*, and make its populations more stable.

Key words: *Sinojackia rehderiana*, 2×2 contingency table, population associativity, community stability

物种的联结性是对植物在群落中分布状况的数量和结构特征的表达,通过对群落结构特征的正确认识,了解群落中物种相互关联性,可为物种多样性保护提供理论依据(史作民等,2001;王乃江等,2010)。物种间的联结性是各物种自身调节演化到群落稳定与否的体现形式(宋启亮和董希斌,2014;安丽娟等,2007;柴勇等,2009)。群落的稳定性是植物群落结构与功能的综合特征,由于群落结构和功能在表达上的复杂性以及在时间上具有动态变化,至今没有建立完整的群落稳定性评价体系。物种的联结性与稳定性可用于研究物种的濒危机制,揭示群落竞争状况及演替趋势,这对于正确指导濒危物种保护和栽培具有积极作用(王加国等,2015)。近年来,国内外学者基于种间联结性和群落稳定性方面进行了大量卓有成效的研究。黄祥童等(2015)对珍稀植物对开蕨与其伴生物种的联结性及群落稳定性的研究;郭连金和王涛(2009)研究了空心莲子草入侵对乡土植物群落种间联结性及稳定性的影响;郑元润(2000)在大青沟对森林群落运用改进的 M. Godron 群落稳定性研究方法进行对比分析,结果较为理想。

狭果秤锤树属于安息香科秤锤树属,为中国特有种,根据世界自然保护联盟(IUCN)1994年拟定的红色名录濒危标准体系,将受危物种分为3个等级,即极危、濒危、易危,该树种符合“濒危”等级的标准,属于濒危珍稀树种。狭果秤锤树模式标本采自江西省南昌市望城乡,间断分布于华南和华东,包括安徽泾县、广东乳源、江西永修县艾城镇、江西彭泽县、湖南祁东县灵官镇、湖南宜章县栗源堡乡等地。经过长期野外调查发现,由于分布狭窄,种源较少,种子具有深休眠的习性,自然状态下需要2~3 a才能萌发,人为的开山采矿等破坏活动,使狭果秤锤树的原生境遭到了严重破坏,目前模式标本产地以

及湖南宜章县均未发现该物种的存在。为了保护狭果秤锤树这一濒危树种,对其开展各类研究非常有必要。目前仅见谢国文等(2012)对狭果秤锤树进行了群落区系特征的研究;姚小洪等(2005)和 Yao et al(2011)对狭果秤锤树遗传结构和基因流、地理分布进行了调查研究;Zhang et al(2012)对秤锤树属遗传印迹进行了比较研究。但是,从物种间相互关系、群落稳定性角度的研究尚未见报道。本研究以狭果秤锤树天然群落为研究对象,通过设立标准固定样地,对样地内所有木本植物进行调查,探讨群落内24个优势木本物种间的联结性和相关程度;研究其群落物种组成特征与群落稳定性,从而有针对性地对狭果秤锤树进行保育管理,这对维护狭果秤锤树群落健康发展,保护植物群落多样性具有重要作用,进而为制定珍稀植物的优先保护策略、种群恢复与重建等提供理论依据。

1 自然概况

研究区位于江西省九江市永修县艾城镇青山村,地理坐标为29°7.930' N,115°42.664' E,海拔约23 m。该区是北亚热带向中亚热带过度区域,属亚热带湿润季风气候区。年均气温17℃左右;最冷月1月,极端最低温度-16℃,平均5℃左右;最热月7月,极端最高温40℃,平均29℃左右。夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。全年降水量1500 mm左右。

狭果秤锤树分布在一个约7 hm²的小山丘上,为当地的风水林,地势平坦,土壤为沙质壤土,风水林周围环绕着农田。狭果秤锤树所在群落主要乔木有狭果秤锤树、樟树、紫弹朴、毛柿等,盖度在85%左右;灌木层以尾叶冬青、青灰叶下珠、瓜木等占优势,盖度在30%左右;草本层以紫金牛占绝对优势,盖度在95%以上。

2 研究方法

2.1 样地设置及调查方法

2014年5月,在永修县艾城镇青山村狭果秤锤树群落中选择该物种分布相对集中的地段,设置面积为 $50\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的固定样地,再将样地按 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 的面积划分为50个小样方,调查整个样地内胸径 $\geq 1\text{ cm}$ 的所有木本植物,记录种名并测量坐标、胸径、树高、冠幅等指标。

2.2 数据处理

据野外调查数据,将原始数据矩阵转化为0,1形式的二元数据矩阵,建立 2×2 联列表。计算各样地出现的物种数、个体数、频度。用频度表示物种在群落中的优势程度,根据样方统计计算物种频度:频度=每个物种出现的样方数/总的样方数。根据各物种频度排名,剔除频度小于5%的物种,其余物种为优势物种,即优势种至少在3个样方中出现。

2.3 总体联结性和种间关联性测定

以 χ^2 检验为基础,先用方差比率法(VR)检验整个群落的总体关联程度,再以 χ^2 统计量等确定物种间联结性指标,计算方法参考张思玉和郑世群等(2002);林长松等(2008);张志勇等(2003);裴利洪等(2004);曹培健等(2006)。

χ^2 检验仅得出了种间联结性显著与否的结论,没有显著联结性的种对不代表没有联结性,而联结系数(AC)和共同出现百分率(PC)可以进一步对联结程度加以反映,计算方法参考张思玉和郑世群(2002);林长松等(2008);张志勇等(2003);裴利洪等(2004);曹培健等(2006)。

在计算联结系数AC时,为避免a、c或d为0而导致 $AC = \pm 1$ 出现无法比较关联程度的情况,把a、c、d为0的数值都加权为1(黄祥童等,2015;张倩媚等,2006;王伯荪和彭少麟,1985)。

2.4 群落稳定性

群落的稳定性研究方法分为两类,生物生态学方法和数学生态学方法。M. Godron法是目前国际上比较流行的一种测定群落稳定性的数学生态学方法。本文利用改进的M. Godron稳定性测定方法,即贡献定律法,利用群落中物种种类与该种的频度,建立数学模型,推断群落演替过程中主要物种变化趋势,具体参考Godron(1972),黄祥童等(2015),郑元润(2000),马洪婧等(2013)的方法。

3 结果与分析

3.1 总体相关性

根据频率的统计结果,最终确定参与狭果秤锤树群落种间联结性分析的木本种群24个(表1)。依据24个优势种的存在与否矩阵,计算出VR值,即 $VR = 1.2262$,大于1。这表明24个种群间呈现净的正联结。使用统计量W进行检测, $W = (N \times VR) = 61.31$ 。

相应的 χ^2 值通过查表(杜荣骞等,2010),得出 $\chi_{0.95(50)}^2 = 34.76$, $\chi_{0.05(50)}^2 = 67.50$,W落在 $\chi_{0.95(50)}^2$ 与 $\chi_{0.05(50)}^2$ 之间,表明24个优势种之间总体上呈现不显著的正联结。一般来说,随着群落的发展,群落物种组成及其结构将逐渐趋于显著正相关,从而达到种群间的稳定共存。本研究结果显示,狭果秤锤树群落种间表现出不显著正相关,表明该群落各主要木本植物种群间总体上还没有形成紧密的偶合关系,群落中物种和数量处于简单的随机组合阶段,群落尚处于动态演替过程中。

3.2 种间联结的 χ^2 检验

根据Yates公式校正后的 χ^2 检验值半矩阵图(图1),276个种对间呈一般正联结的160对,占总对数的57.97%,呈一般负联结的111对,占40.22%;显著正联结的3对,显著负联结的1对,种间无联结的1对,无极显著联结的种对。其中,种对3-11(青灰叶下珠-蜡子树)、种对7-8(毛柿-冬青)、种对19-24(苦槠-黄檀)呈显著正联结关系,种对2-19(尾叶冬青-苦槠)呈显著负联结关系。

24个优势种群间,大多数种对的种间联结并没有达到显著程度,表明该群落中种群间联结松散,优势种狭果秤锤树与其它23个物种联结性都不强。

3.3 联结系数AC

狭果秤锤树群落内主要木本种间联结大多数为正联结(图2),仅 $0 \leq AC < 0.4$ 的种对就有134对,占48.55%; $AC \geq 0.4$ 的种对30对,其中 $AC \geq 0.6$ 的只有7对,分别是3-11(青灰叶下珠-蜡子树)、3-13(青灰叶下珠-女贞)、4-16(樟树-椴子)、5-12(瓜木-大青)、9-21(紫弹朴-油茶)、9-22(紫弹朴-华山矾)、10-24(三角槭-黄檀); $AC < 0$ 的种对112对,其中 $AC < -0.6$ 的种对有7对。

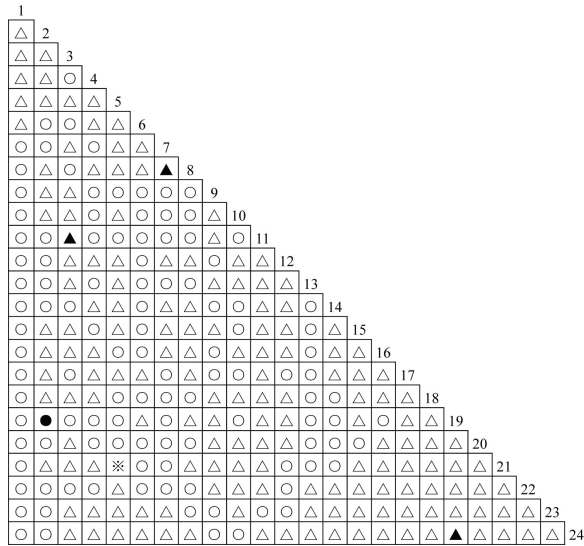
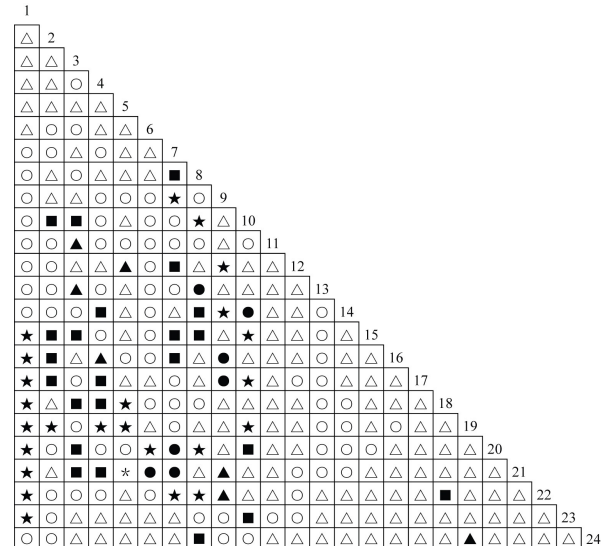
3.4 共同出现百分率PC

在狭果秤锤树群落主要木本种群组成的276个

表 1 狭果秤锤树群落 24 个木本优势种的序号和频度

Table 1 Codes and frequency of the 24 dominant woody species of *Sinojackia rehderiana* communities

编号 Code	物种 Plant species	频度 Frequency (%)	编号 Code	物种 Plant species	频度 Frequency (%)
1	狭果秤锤树 <i>Sinojackia rehderiana</i>	98	13	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	18
2	尾叶冬青 <i>Ilex wilsonii</i>	76	14	野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i>	18
3	青灰叶下珠 <i>Phyllanthus glaucus</i>	66	15	木油桐 <i>Vernicia montana</i>	14
4	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	62	16	梔子 <i>Gardenia jasminoides</i>	14
5	瓜木 <i>Alangium platanifolium</i>	60	17	百齿卫矛 <i>Euonymus centidens</i>	12
6	赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	58	18	枸骨 <i>Ilex cornuta</i>	12
7	毛柃 <i>Diospyros strigosa</i>	46	19	苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	12
8	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	38	20	蔓胡颓子 <i>Elaeagnus glabra</i>	12
9	紫弹朴 <i>Celtis biondii</i>	38	21	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	10
10	三角槭 <i>Acer buergerianum</i>	32	22	华山矾 <i>Symplocos chinensis</i>	8
11	蜡子树 <i>Ligustrum leucanthum</i>	30	23	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	6
12	大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	26	24	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>	6

图 1 狭果秤锤树群落优势种间关联的 x^2 半矩阵图
种序号同表 1。下同。Fig. 1 Semi-matrix graph of interspecific correction x^2 test of association of woody dominant populations
Species codes are shown in Table 1. The same below.图 2 狭果秤锤树群落优势种间
关联的 AC 半矩阵图Fig. 2 Semi-matrix graph of AC correlation coefficients
of dominant woody populations

种对间(图 3)中, $0.4 \leq PC < 0.6$ 和 $PC \geq 0.6$ 这两个等级的分别为 18 对和 3 对, 两个等级累计只占 7.61%, 而 $PC < 0.2$ 的种对就有 200 对, 占 72.46%。由此可见, 主要木本种群间的正联结程度不高。PC 值相对较大的 3 个种对分别是 1-2(狭果秤锤树-尾叶冬青)、1-3(狭果秤锤树-青灰叶下珠)、1-4(狭

果秤锤树-樟树)。

3.5 狭果秤锤树群落的稳定性

运用 M. Godron 稳定性测定方法, 将群落主要木本植物相对频度进行累积并绘图, 结果见图 4。得到模糊散点平滑曲线模拟模型: $y = -0.011x^2 + 2.02x + 8.332$, 与 $y = 100 - x$ 交点坐标即群落稳定点为 35/65, 远离 20/80, 表明狭果秤锤树群落不稳定。

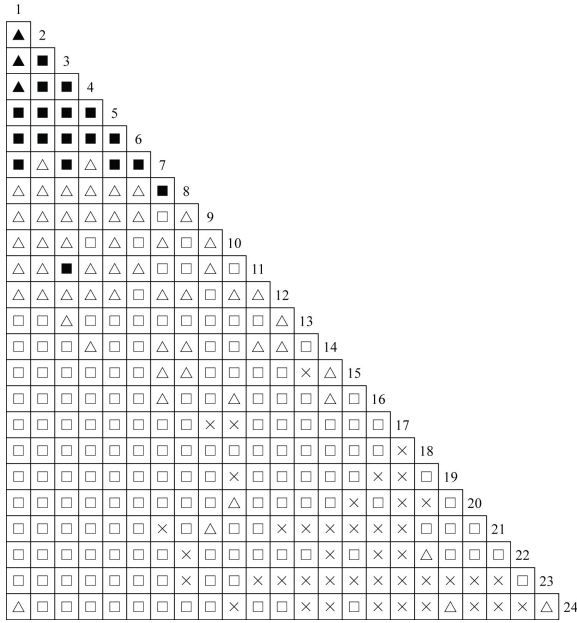


图3 狭果秤锤树群落优势种间关联的PC半矩阵图

Fig. 3 Semi-matrix graph of PC correlation coefficients of dominant woody populations

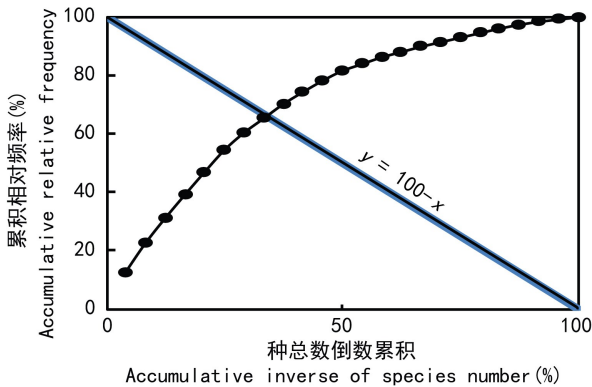


图4 狭果秤锤树群落稳定性图

Fig. 4 Community stability graph of *Sinojackia rehderiana*

4 讨论与结论

种群间总体关联性与多种对间联结程度能较好地反映群落的演替阶段,处于顶级群落的各种间有着密切的相互关系,是这一气候带内种群长期相互作用的结果,故对于演替达到或即将达到顶级的群落而言,其多物种联结的方差比率 VR 显著,且远

大于1;群落内各种群间呈显著负联结或负联结的种对少,显著正联结的种对数量较多。理论研究表明随着群落演替的发展,群落物种组成,数量大小发生变化,种间联结性逐步趋于正联结,以达到稳定的平衡状态(黄祥童等,2015;郭连金等,2009;周先叶等,2000;杜道林等,1995)。因此,研究狭果秤锤树群落生存状况评价时,应将种群联结性和群落稳定性放在一起,力求充分表达群落所处阶段和群落发展方向。卡方检验表明狭果秤锤树群落总体表现出正关联($VR > 1$),但未达到显著水平($W < x_{0.05}^2(N)$)。狭果秤锤树种群276个种对间显著联结性的只有4对($3.841 < x^2 < 6.635$),表明了虽然各物种共存于同一群落中,但种群间联结性较小,表现出较强的独立性,较弱的相关性。一般情况下,成熟稳定的群落常表现为较多的正联结,以达到物种的稳定共存(张任好,2006)。周先叶等(2000)认为正负关联比越高,群落结构更趋于稳定,多物种易于稳定共存。

联结系数 AC 和共同出现百分率 PC 相结合进一步检验由 x^2 所测出来的结果,可体现关联的程度和联结关系的显著性(林长松等,2008;郭志华等,1997)。两物种同时出现或不出现,表现出较高的正联结程度,可能是源于相似的生态习性和环境需求(张思玉和郑世群,2002;张志勇等,2003)。一方面,处于群落的不同林层的种对在生态位上出现重叠,对光照、水分等环境因子具有协调利用性(袁建国等,2008;王丽丽等,2012),如处于冠层的樟树与处于灌木层的野鸦椿,紫弹朴和油茶。另一方面,处于同一林层树种虽然存在竞争,但可能由于彼此在株型大小、耐荫性等生物特性方面的相似和互补性,种对间还不至于排斥,例如,处于次林层的毛柿和冬青,处于灌木层的青灰叶下珠和蜡子树,均呈显著正联结,且 PC 值大于0.4。

种对间呈现显著负联结体现了树种间的排斥性,可能是因为不同树种生态习性不同,对群落微环境的需求不一致,生态位分离,在利用环境营养空间和争夺资源上产生竞争和排斥(赵彩莉等,2013),也有可能是由于我们研究的目的树种在取样时有所偏重,其它物种较少出现有关。本研究中呈现显著负联结的种对主要有如下几种情况:第一种情况是高大落叶阔叶树种与下层常绿乔木树种,如三角槭与冬青、百齿卫矛;第二种情况是常绿大乔木与下层灌木,如苦槠与瓜木、赤楠等;第三种情况是阳性灌木与耐荫小乔木之间,如梔子、百齿卫矛、枸骨、油

茶、华山矾与狭果秤锤树等。这些种对间均因对光等生态因子存在较强的竞争关系, 或对生境需求有较大差异, 因此在群落中同时出现的机会小, 从而表现出较强的显著负联结。

综合比较 χ^2 检验与联结系数 AC 、共同出现百分率 PC 的测定结果, 表明狭果秤锤树与尾叶冬青、青灰叶下珠、樟树、瓜木、赤楠、毛柿等 6 物种共同出现百分率高, 但联结性不高, 与木油桐、梔子、百齿卫矛、枸骨、苦槠、蔓胡颓子、油茶、华山矾、黄连木等 9 物种显著负联结, 但共同出现百分率低。由此可推断, 狭果秤锤树与大多数种群关联性不显著, 表现出相对独立性和随机性, 相关性不明显。胡理乐等 (2015) 在研究濒危植物毛柄小勾儿茶; 黄祥童等 (2015) 研究珍稀植物对开蕨时均得出了类似的结论。因此通过 χ^2 检验与联结系数 AC 、共同出现百分率 PC 三个指标结合使用, 较真实地反映出狭果秤锤树群落的总体和各树种间的相互关系。

狭果秤锤树作为珍稀濒危植物, 研究和揭示其致濒机制有重要意义。狭果秤锤树地理分布区相对狭窄, 局限分布于少数几个地区, 属狭域分布种; 种内各居群之间相互隔离, 经研究也证实因遗传基础狭窄, 导致居群基因流非常有限及近交衰退 (Yao et al, 2011)。群落生境的不同影响了物种的分布, 不同物种在空间分布上具有相互关联性, 随着群落的发展, 狭果秤锤树很有可能会因为生境的改变以及自身生殖特性的限制, 在原产地分布渐弱。结合 M. Godron 群落稳定性分析方法, 说明该狭果秤锤树群落的结构和功能还不稳定, 且处于演替的初级阶段, 物种组成和数量结构也处于动态调节中, 离顶级群落有一定距离。因此, 在开展对狭果秤锤树保护和回归引种实践中, 可以通过保护野生居群生境的方式或迁地保护实践中营造乔-灌-草立体生态系统的相似生境, 促进狭果秤锤树正常生长与更新。

参考文献:

AI JG, WENG GH, DONG W, 2008. Interspecific association of primary plant populations in an evergreen broadleaf forest at Shiyang Forest Park of Zhejiang Province [J]. J Zhejiang For Coll, 25(3): 324-330. [袁建国, 翁国杭, 董蔚, 2008. 石埭森林公园常绿阔叶林主要种群的种间联结性 [J]. 浙江林学院学报, 25(3): 324-330.]

AN LJ, ZHU ZH, WANG XA, et al, 2007. Stability analysis of major communities in Malan forest region of Ziwuling Mountain [J]. Acta Boreal-Occident Sin, 27(5): 859-863. [安丽娟, 朱志红, 王孝安, 等, 2007. 子午岭马栏林区主要森林群落的稳

定性分析 [J]. 西北植物学报, 27(5): 859-863.]

CAO PJ, DING BY, LI WC, et al, 2006. Study on the interspecific association of dominant populations of *Fokienia hodginsii* communities in Fengyang Mountain [J]. J Zhejiang Univ: 33(6): 676-687. [曹培健, 丁炳扬, 李伟成, 等, 2006. 凤阳山福建柏群落主要种群种间联结性研究 [J]. 浙江大学学报·理学版, 33(6): 676-687.]

CHAI Y, MENG GT, WU L, et al, 2009. Interspecific associations of main tree species in the communities with *Magnolia odoratissima* [J]. Acta Boreal-Occident Sin, 24(5): 31-35. [柴勇, 孟广涛, 武力, 等, 2009. 馨香玉兰所在群落主要树种的种间联结性 [J]. 西北植物学报, 24(5): 31-35.]

DU DL, LIU YC, LI R, 1995. Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Catanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China [J]. Acta Phytoecol Sin, 19(2): 149-157. [杜道林, 刘玉成, 李睿, 1995. 缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性研究 [J]. 植物生态学报, 19(2): 149-157.]

DU RQ, 2010. Biological statistics: [M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press: 322-354. [杜荣骞, 2010. 生物统计学 [M]. 第 3 版. 北京: 高等教育出版社: 322-354.]

GODRON M, 1972. Some aspects of heterogeneity in grasslands of Cantal [J]. Stal Ecol, 3: 397-415.

GUO LJ, WANG T, 2009. Impact of invasion of exotic plant *Alternanthera philoxeroides* on interspecies association and stability of native plant community [J]. Chin J Eco-Agric, 17(5): 851-856. [郭连金, 王涛, 2009. 空心莲子草入侵对乡土植物群落种间联结性及稳定性的影响 [J]. 中国生态农业学报, 17(5): 851-856.]

GUO ZH, ZHUO ZD, CHEN J, 1997. Interspecific association of trees in mixed evergreen and deciduous broadleaved forest in Lushan Mountain [J]. Acta Phytoecol Sin, 21(5): 424-432. [郭志华, 卓正大, 陈洁, 1997. 庐山常绿、落叶阔叶混交林乔木种群间联结性研究 [J]. 植物生态学报, 21(5): 424-432.]

HU LL, JIANG XM, DANG HS, et al, 2005. Community studies on the status of the endangered plant, *Berchemiella wilsonii* var. *pubipetiolata*, using interspecific association analysis [J]. Acta Phytoecol Sin, 29(2): 258-265. [胡理乐, 江明喜, 党海山, 等, 2005. 从种间联结分析濒危植物毛柄小勾儿茶在群落中的地位 [J]. 植物生态学报, 29(2): 258-265.]

HUANG XT, WANG SX, HUANG BJ, et al, 2015. Analyses of community stability and inter-specific associations between the rare plant *Phyllitis scolopendrium* and its associated species [J]. Acta Ecol Sin, 35(1): 80-90. [黄祥童, 王绍先, 黄炳军, 等, 2015. 珍稀植物对开蕨与其伴生物种的联结性及群落稳定性 [J]. 生态学报, 35(1): 80-90.]

LIN CS, LI YY, ZUO JH, et al, 2008. Inter-specific association of dominant tree species in rare plant *Dipentodon sinicus* communities of Yushe National Forest Park, Guizhou Province [J]. Chin J Ecol, 27(2): 178-184. [林长松, 李玉英, 左经会, 等, 2008. 珍稀植物十齿花群落乔木优势种群种间联结性 [J]. 生态学杂志, 27(2): 178-184.]

MA HJ, LI RX, YUAN FY, et al, 2013. Stability of platycladus orientalis mixed forest communities at different successional stages [J]. Chin J Ecol, 32(3): 558-562. [马洪婧, 李瑞霞, 袁发银, 等, 2013. 不同演替阶段栎树混交林群落稳定性

- [J]. 生态学杂志, 32(3):558-562.]
- QIU LH, YU ZX, SHI JM, et al, 2004. Studies on interspecific association of communities with *Sinomanglietia glauca* [J]. Acta Agric Univ Jiangxi, 26(1):25-30. [裘利洪, 俞志雄, 施建敏, 等, 2004. 华木莲群落种间联结性研究 [J]. 江西农业大学学报, 26(1):25-30.]
- SHI ZM, LIU SR, CHENG RM, et al, 2001. Interspecific association of plant populations in deciduous broad-leaved forest in Bao Tianman [J]. Sci Silv Sin, 37(2):29-35. [史作民, 刘世荣, 程瑞梅, 等, 2001. 宝天曼落叶阔叶林种间联结性研究 [J]. 林业科学, 37(2):29-35.]
- SONG QL, DONG XB, 2014. Comprehensive evaluation of forest community stability of different types of low-quality forest stands in the Greater Higgan Mountains [J]. Sci Silv Sin, 50(6):10-17. [宋启亮, 董希斌, 2014. 大兴安岭不同类型低质林群落稳定性的综合评价 [J]. 林业科学, 50(6):10-17.]
- WANG BS, PENG SL, 1985. Studies on the measuring techniques of interspecific association of lower-subtropical evergreen-broad-leaved forests [J]. Acta Phytoecol Geobot Sin, 9(4):274-285. [王伯荪, 彭少麟, 1985. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究I. 种间联结测定的探讨与修正 [J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 9(4):274-285.]
- WANG LJ, XI SH, ZHOU QS, et al, 2010. Interspecific association of dominant populations of *Pinus tabulaeformis shekanensis* communities in Qiaoshan forest area [J]. Acta Boreal-Occident Sin, 30(4):645-651. [王乃江, 习世红, 周秦生, 等, 2010. 子午岭桥山林区柴松群落主要种群种间联结性研究 [J]. 西北植物学报, 30(4):645-651.]
- WANG LL, BI RC, YAN M, 2012. An analysis of interspecific association of species in tree layer of *Pinus bungeana* community in Wulu Mountain of Shanxi [J]. Guihaia, 32(1):63-68. [王丽丽, 毕润成, 闫明, 2012. 山西五鹿山白皮松群落乔木层的种间关联性分析 [J]. 广西植物, 32(1):63-68.]
- XIE GW, WANG WR, HE JX, et al, 2012. Floristic characteristics of a community with endangered plant *Sinojackia rehderiana* in the north of Jiangxi [J]. J Guangzhou Univ (Nat Sci Ed), 11(4):18-24. [谢国文, 王惟荣, 何静欣, 等, 2012. 濒危植物狭果秤锤树所在群落的区系特征 [J]. 广州大学学报(自然科学版), 11(4):18-24.]
- YAO X, ZHANG J, YE Q, et al, 2011. Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in a small, fragmented population of *Sinojackia rehderiana* (Styracaceae), an endangered tree species endemic to China [J]. Plant Biol, 13(2):401-410.
- YAO XH, YE QG, KANG M, et al, 2005. Geographic distribution and current status of the endangered genera *Sinojackia* and *Changiostyrax* [J]. Biodivers Sci, 13(4):339-346. [姚小洪, 叶其刚, 康明, 等, 2005. 秤锤树属与长果安息香属植物的地理分布及其濒危现状 [J]. 生物多样性, 13(4):339-346.]
- ZHANG JJ, YE QG, GAO PX, et al, 2012. Genetic footprints of habitat fragmentation in the extant populations of *Sinojackia* (Styracaceae); implications for conservation [J]. Bot J Linn Soc, 170(2):232-242.
- ZHANG QM, CHENG BG, ZHOU GY, 2006. Interspecific association of the dominant species in two typical communities in Dinghushan, South China [J]. J S Chin Agric Univ, 27(1):79-83. [张倩媚, 陈北光, 周国逸, 2006. 鼎湖山主要林型优势树种种间联结性的计算方法研究 [J]. 华南农业大学学报, 27(1):79-83.]
- ZHANG RH, 2006. Study on the interspecific associations of the dominant species in *Sassafras tzumu* community [J]. Chin For Sci Technol, 20(4):24-27. [张任好, 2006. 樟树群落主要树种种间联结性研究 [J]. 林业科技开发, 20(4):24-27.]
- ZHANG SY, ZHENG SQ, 2002. Study on interspecific association of main shrub populations in *Alsophila spinulosa* community in Yongding County, Fujian [J]. Acta Bot Yunnan, 24(1):17-22. [张思玉, 郑世群, 2002. 福建永定桫欏内主要灌木种群的种间联结性研究 [J]. 云南植物研究, 24(1):17-22.]
- ZHANG ZY, TAO DD, LI DZ, 2003. An analysis of interspecific associations of *Pinus squamata* with other dominant woody species in community succession [J]. Biodivers Sci, 11(2):125-131. [张志勇, 陶德定, 李德铤, 2003. 五针白皮松在群落演替过程中的种间联结性分析 [J]. 生物多样性, 11(2):125-131.]
- ZHAO CL, ZHANGF, PANG CH, et al, 2013. Interspecific association of dominant species of *Amaranthus retroflexus* L. community [J]. Bull Bot Res, 33(4):454-460. [赵彩莉, 张峰, 庞春花, 等, 2013. 反枝苋群落优势种的种间关联性分析 [J]. 植物研究, 33(4):454-460.]
- ZHENG YR, 2000. Comparison of methods for studying stability of forest community [J]. Sci Silv Sin, 36(5):28-32. [郑元润, 2000. 森林群落稳定性研究方法初探 [J]. 林业科学, 36(5):28-32.]
- ZHOU XY, WANG BS, LI MG, 2000. An analysis of interspecific-associations in secondary succession forest communities in Heshiding Natural Reserve, Guangdong Province [J]. Acta Phytoecol Sin, 24(3):332-339. [周先叶, 王伯荪, 李鸣光, 2000. 广东黑石顶自然保护区森林次生演替过程中种群的种间分析 [J]. 植物生态学报, 24(3):332-339.]