

海南霸王岭油丹所在群落的优势种群间联结性研究

陈玉凯¹, 杨小波^{1*}, 李东海¹, 农寿千¹, 吕晓波¹, 吕洁杰¹, 杨民², 李小成²

(1. 海南大学热带作物种质资源保护与开发利用教育部重点实验室; 园艺园林学院, 海口 570228;

2. 海南霸王岭国家级自然保护区, 海南 昌江 572722)

摘要: 基于 2×2 联列表, 以 X^2 统计量、Ochiai 联结测度指数和多物种关联指数为参数, 分析了海南霸王岭油丹所在群落中油丹(*Alseodaphne hainanensis*)等 17 个主要种群(物种)的种间联结性特征。结果表明, 17 个主要种群(物种)总体水平上表现为不显著的正联结。17 个物种组成的 136 个种对中: 当取样面积在 100 m^2 时, 有 72 对表现正关联, 63 对为负关联, 1 对无关联。 X^2 检验有 2 对表现显著正关联, 有 3 对表现显著或极显著负关联。有 125 个种对的 $0 < OI < 0.6$, 仅有 9 个种对的 $OI \geq 0.6$, 另有 2 个种对 $OI = 0$; 当取样面积为 50 m^2 时, 有 59 对表现正关联, 70 对为负关联, 7 对无关联。 X^2 检验有 6 对表现显著或极显著正关联, 有 2 对表现显著负关联。有 129 个种对的 $0 < OI < 0.6$, 而 $OI \geq 0.6$ 的种对没有, 另有 7 个种对 $OI = 0$ 。不同优势种群下的种间联结性存在一定的差异, 而以线枝蒲桃(*Syzygium araiocladum*)等为优势种群的群落种间联结性较高, 群落结构较稳定。

关键词: 油丹; 群落; 优势种群; 种间联结; 霸王岭; 海南

中图分类号: Q948.122.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2011)03-0237-08

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2011.03.008

Interspecific Associations among Dominant Populations in the Communities with *Alseodaphne hainanensis* in Bawangling, Hainan Island

CHEN Yu-kai¹, YANG Xiao-bo^{1*}, LI Dong-hai¹, NONG Shou-qian¹,

LÜ Xiao-bo¹, LÜ Jie-jie¹, YANG Min², LI Xiao-cheng²

(1. Key Laboratory of Protection and Development Utilization of Tropical Crop Germplasm Resources, Ministry of Education; College of Horticulture and Landscapes, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Bawangling National Nature Reserve, Hainan Province, Changjiang 572722, China)

Abstract: Based on the 2×2 contingency table, a series of parameters, including X^2 -test, Ochiai values (OI) and correlation index were used to analyze the characteristics of interspecific associations among 17 dominant populations in the communities with *Alseodaphne hainanensis* in Bawangling, Hainan Island. The results showed that the interspecific associations among 17 dominant populations were not significantly positive correlation. The 136 species pairs at all were consisted of 17 dominant populations. When the sampling area was 100 m^2 , 72 species pairs had positive correlation, 63 species pairs negative correlation, and 1 species pairs no correlation. The X^2 -test indicated that 2 species pairs had significantly positive correlation and 3 species pairs had significantly or very significantly negative correlation. The Ochiai value (OI) of 125 species pairs ranged from 0 to 0.6, 9 species pairs were greater than or equal to 0.6, and 2 species pairs were 0. When the sampling area was 50 m^2 , 59 species

收稿日期: 2010-09-10

接受日期: 2010-02-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BADBOB02-1); 国家自然科学基金项目(31060073); 教育部博士点基金项目(20094601110004); 林业公益性行业科研专项项目(200904028); 海南省重点计划项目(06101; 080801); 海南省自然科学基金项目(409003)资助

作者简介: 陈玉凯(1984 ~), 男, 硕士, 从事植物生态学的研究, email: kaizil1984@126.com

* 通讯作者 Corresponding author, email: yangxb62@yahoo.com.cn

pairs had positive correlation, 70 species pairs negative correlation, and 7 species pairs no correlation. The X^2 -test indicated that 6 species pairs had significantly positive correlation, and 2 species pairs had significantly negative correlation. The OI of 129 species pairs ranged from 0 to 0.6, and the others 7 species pairs were 0. There were differences in interspecific association among communities with different dominant populations, but the interspecific associations in community with *Syzygium araiocladum* as dominant population were stronger than those in other communities, it reflected that the community was stable.

Key words: *Alseodaphne hainanensis*; Community; Dominant population; Interspecific association; Bawangling; Hainan

群落内的每一种植物不是孤立生存的,而是与生境中组成群落的物种之间相互依存、协同进化,使群落处于相对稳定的状态,并表现为某种种间关系^[1]。种间联结(interspecific association)是指不同物种在空间分布上的相互关联性,不仅包括空间分布关系,同时也隐含着物种之间的功能依赖关系,是群落数量和结构的重要特征之一^[2-3]。种与种之间的关系从总的效果来说,可分为 3 种情况,即正联结、负联结以及不联结^[14]。通过对种间关联的研究,能客观反映物种在空间上的相互关系,全面了解群落种类组成间的相互依存和相互制约的关系,对揭示群落结构组成特征、动态和演替等机制具有重要的意义^[25-7]。

油丹(*Alseodaphne hainanensis*)是樟科(Lauraceae)乔木树种,为海南岛热带山地雨林树种,是国家Ⅱ级重点保护野生植物,生于海拔 700 ~ 1700 m 之间的森林中。油丹材质优良,为热带名贵用材,在海南森工部门列为一类名材。由于长期利用和不合理的采伐,致使天然资源已面临枯竭。

目前有关油丹的研究报道较少,仅涉及其种群、群落等方面,如海南霸王岭热带山地雨林林隙幼苗库的动态规律研究及对演替顶级阶段森林群落优势树种分布的变动趋势研究等^[8-9]。本研究对油丹所在群落主要树种的种间联结性进行研究,探讨油丹所在群落内物种间以及物种与环境之间的相互关系,为保护和科学管理该国家级保护植物提供理论依据。

1 研究区域自然概况

研究区域霸王岭林区位于海南省西南部的昌江黎族自治县和白沙黎族自治县,地理坐标 18° 52' ~ 19° 12' N, 108° 53' ~ 109° 20' E。地形复杂,以山地为主。海拔在 100 ~ 1654 m。该地区属热带季风气候,干湿季明显。年均温 23.6℃,年降水量为 1500 ~ 2000 mm,但分布不均,5 ~ 10 月份为雨季,11 月至翌年 4 月份为旱季。林区内土壤以花岗岩、

沙岩为母质发育而成的砖红壤为代表类型,随海拔的增加逐渐过渡为山地红壤^[10]。

本文调查的油丹主要分布在海拔 900 ~ 1200 m,所在群落主要以陆均松(*Dacrydium plerrei*)、鸡毛松(*Podocarpus imbricatus*)、线枝蒲桃(*Syzygium araiocladum*)等为优势的热带山地雨林群落,油丹所在群落可分为乔木、灌木、草本 3 层,此外还有少量的层间植物,油丹群落的乔木层可分为 3 个亚层:第一亚层树高 15 ~ 25 m,油丹处于这一亚层;第二亚层树高 10 ~ 15 m,主要以毛荔枝(*Nephelium lappaceum*)、黄叶树(*Xanthophyllum hainanensis*)及线枝蒲桃等为优势种;第三亚层树高 5 ~ 10 m,主要以谷木(*Memecylon ligustrifolium*)、密脉蒲桃(*Syzygium chunianum*)、厚皮香八角(*Illicium ternstroemioides*)、海南破布叶(*Microcos chungii*)等为优势种。灌木层主要以九节(*Psychotria rubra*)、药用狗牙花(*Ervatamia officinalis*)、三角瓣花(*Prismatomeris connata*)等为优势种。草本层植株稀少,主要分布有假益智(*Alpinia macleurei*)、卷柏(*Selaginella tamariscina*)、露兜(*Pandanus austrosinensis*)等。层间植物常见的有华南茜(*Piper austrosinense*)、菝葜(*Smilax china*)等。霸王岭森林植被曾长期受到包括砍伐在内的各种扰动影响,1998 年“天然林保护工程”实施后,其破坏的趋势才得以遏制,目前该区植被正处于恢复阶段,其油丹分布的群落可分为 4 个不同群落:(I)以油丹等为优势种群的群落;(II)以野茶(*Camellia sinensis* var. *assamica*) + 九节等为优势种群的群落;(III)以线枝蒲桃 + 厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)等为优势种群的群落;(IV)以粗毛野桐(*Mallotus hookerianus*) + 九节等为优势种群的群落。

2 研究方法

2.1 野外调查

根据油丹种群的分布特点,本研究以油丹为中心设置 10 个 20 m × 20 m 的样地,每样地再划分为

16个5 m×5 m的小样方,以2个取样面积尺度做种间联结性研究,即5 m×10 m=50 m²和10 m×10 m=100 m²。每个样地的四角或中心再调查3~5个5 m×5 m的灌木样方,3~5个2 m×2 m的草本样方。调查并记录乔木层树种(DBH≥1 cm)的名称、胸径、高度、冠幅和株数等;草本植物与灌木植物的名称、株数(株丛)、高度和盖度等,同时测定坡度、坡向、海拔等环境因子。

2.2 数据统计

采用《植物群落实验手册》^[11]上的常规分析方

法统计各样地出现的物种数、个体数、频度、密度、物种出现的样方数,计算每个种群的重要值,即重要值=(相对频度+相对密度+相对显著度)/3。再根据各种群重要值进行排名,选取至少出现于5个小样方且重要值大于1的与油丹常伴生出现的前17种优势乔木的物种(表1)进行种间联结和相关性分析,包括油丹所在群落主要种群的总体关联、种间联结及种间关联强度,油丹所在群落不同优势种群间的联结性。

表1 油丹所在群落 17 个主要种群的重要值
Table 1 Important values of 17 dominant tree species in the communities with *Alseodaphne hainanensis*

序号 No.	植物 Species	相对密度 Relative density (%)	相对频度 Relative frequency (%)	相对显著度 Relative significant (%)	重要值 Important value (%)
1	油丹 <i>Alseodaphne hainanensis</i>	2.284	2.535	19.140	7.986
2	九节 <i>Psychotria rubra</i>	7.897	3.239	0.451	3.862
3	药用狗牙花 <i>Ervatamia officinalis</i>	5.423	4.789	0.698	3.637
4	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	4.757	3.380	1.390	3.176
5	黄叶树 <i>Xanthophyllum hainanensis</i>	2.093	1.972	4.016	2.694
6	肉实树 <i>Sarcosperma arboreum</i>	1.427	1.831	4.025	2.428
7	毛荔枝 <i>Nephelium lappaceum</i>	2.093	2.113	1.944	2.050
8	白颜 <i>Gironniera subaequalis</i>	2.474	2.113	1.455	2.014
9	线枝蒲桃 <i>Syzygium araiocladum</i>	2.379	1.549	1.637	1.855
10	三角瓣花 <i>Prismatomeris connata</i>	2.474	2.676	0.055	1.735
11	谷木 <i>Memecylon ligustrifolium</i>	2.950	1.972	0.170	1.697
12	东方肖榄 <i>Platea parvifolia</i>	1.237	1.549	2.214	1.667
13	密脉蒲桃 <i>Syzygium chunianum</i>	2.093	2.113	0.745	1.650
14	白花含笑 <i>Michelia mediocris</i>	0.571	0.845	3.342	1.586
15	海南山龙眼 <i>Helicia hainanensis</i>	2.569	1.690	0.354	1.538
16	厚皮香八角 <i>Illicium ternstroemioides</i>	2.188	1.831	0.351	1.457
17	海南破布叶 <i>Microcos chungii</i>	1.713	1.831	0.599	1.381

2.3 总体相关性检验

采用均方差比率法(VR)检验多物种间的总体关联性^[12-14]。先作零假设,即17个种群间无显著关联,按下式计算检验统计量:

$$VR = \frac{S_T^2}{\delta_T^2} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2}{\sum_{i=1}^S p_i (1 - P_i)}$$

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, P_i = n_i/N, n_i为物种i出现的样方数, t为样方中种的平均数, t = (T₁ + T₂ + ... + 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 × (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 X² 分布给出的界限的概率为 90% : X²_{0.95}(N) ≤ W ≤ X²_{0.05}(N)。

2.4 种间联结性分析

种间联结一般采用 X² 检验进行定性研究,根据 2×2 联列表的 X² 统计量测定成对种间的联结性^[15],将17个优势物种是否在40个10 m×10 m样方中出现转化为40×17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,将由17种优势种群组成的136个

种对的定性数据列入 2×2 联列表, 计算出 a, b, c, d 的值^[4]。由于取样为非连续性取样, 因此, 非连续性数据 X^2 用 Yates 的连续校正公式计算^[16]。

$$X^2 = \frac{N[ad-bc - \frac{1}{2}N]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

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 $X^2 < 3.841$ 时, 认为两个种独立分布, 即无联结; $0.01 < P < 0.05$, 即 $3.841 < X^2 < 6.635$ 时, 认为种间联结显著; $P < 0.01$, 即 $X^2 > 6.635$ 时, 认为种间联结极显著。当 $V = ad - bc > 0$ 时为正联结, $V = ad - bc < 0$ 则为负联结^[17]。

2.5 种间关联程度的测定

对于经 X^2 检验不显著的种对, 并不意味着它们之间不存在关联性。而且 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, 因此需要进一步测定其关联强度。故本研究采用 Ochiai 指数(I)来表示与种对相伴随出现的几率和联结性程度:

$$I = \frac{a}{\sqrt{a+b} \sqrt{a+c}}$$

Ochiai 指数值愈高, 表明种对同时出现的机率愈大, 但并非一定存在正关联。指数在“无关联”时为 0, 表明种间完全相异, 物种不同时出现在同一样方中; 最大关联为 1, 表示同时出现在样方中^[4,18]。 a, b, c 的含义同上。

2.6 不同优势群落的种间联结性分析

由于取样面积为 100 m^2 的样方数较少, 本文仅对取样面积为 50 m^2 时的不同优势种进行种间联结性的 X^2 检验和联结系数研究。将 10 个样地分为 4 个不同优势种群的群落, 再将 4 个不同群落划分成 $5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的小样方, 分别有 24、24、16 和 16 个小样方, 再选取重要值较大且至少出现在 3 个小样方的物种, 分别有 9、9、8 和 8 个物种进行种间联结性分析。

3 结果和分析

3.1 油丹群落主要种群间的总体联结性

根据 17 个优势种群的存在与不存在矩阵, 计算 VR 值。当取样面积为 100 m^2 时 $VR = 1.038 > 1$; 当取样面积为 50 m^2 时 $VR = 1.019 > 1$, 说明 17 个种群间表现出正联结。采用统计量 W 检测 VR

值偏离 1 的显著性。取样面积为 100 m^2 时, $W = N \times (VR) = 41.516$, 根据杜荣骞的方法^[19]得相应的 X^2 值, $X^2_{0.95}(40) = 26.509$, $X^2_{0.05}(40) = 55.758$, W 在 $X^2_{0.95}(40)$ 与 $X^2_{0.05}(40)$ 之间; 取样面积为 50 m^2 时, $W = 81.553$, $X^2_{0.95}(80) = 60.391$, $X^2_{0.05}(80) = 101.879$, W 在 $X^2_{0.95}(80)$ 与 $X^2_{0.05}(80)$ 之内, 说明 17 个优势种群之间在总体上表现出正联结, 但尚未达到显著水平, 表明油丹所在群落的种间联结性较松散, 这可能是由于目前恢复阶段的油丹生存群落还处于演替中的一个阶段, 尚未达到顶级的稳态时期。

3.2 主要种群种间联结的 X^2 检验

种间联结的 X^2 检验能比较准确地反映出种间联结的显著程度, 提供了判断种间联结显著性的定量指标。从图 1 可知, 在 17 个主要树种组成的 136 个种对中, 当取样面积为 100 m^2 时, 有 72 对表现出正关联($V > 0$), 占总种对数的 52.94%, 63 对表现为负关联($V < 0$), 占总种对数的 46.32%, 另有 1 对无关联, 其中显著正关联有 2 对, 分别是黄叶树与谷木、线枝蒲桃与三角瓣花; 显著负关联有 2 对, 分别是黄叶树与海南山龙眼、肉实树与谷木; 极显著负关联仅 1 对, 为白颜与东方肖榄, 而油丹与其他种群种间联结的 X^2 检验为 7 对正关联, 其余 9 对为负关联; 当取样面积为 50 m^2 时, 有 59 对表现出正关联($V > 0$), 占总种对数的 43.38%, 70 对表现为负关联($V < 0$), 占总种对数的 51.47%, 另有 7 对无关联, 占总种对数的 5.15%, 其中极显著正关联仅 1 对, 为线枝蒲桃与厚皮香八角; 显著正关联有 5 对, 分别是厚壳桂与线枝蒲桃、厚壳桂与密脉蒲桃、黄叶树与线枝蒲桃、黄叶树与谷木及密脉蒲桃与厚皮香八角; 显著负关联有 2 对, 分别是油丹与三角瓣花、九节与毛荔枝, 而油丹与其他种群种间联结的 X^2 检验为 6 对正关联、7 对为负关联、3 对无关联。由此可知, 两种取样面积下的多数种对间的联结均未达到显著程度, 种间联结较为松散, 说明群落中各种群趋于独立出现。

3.3 主要种群种间关联测度

X^2 检验方法较准确地反映出种间联结的显著程度, 而采用联结系数度量种间联结性的强度, 则是对种间联结性的进一步说明, 因此成为种间联结研究不可缺少的两个方面^[4,20]。

Ochiai 联结测度指数(图 2)显示: 当取样面积为 100 m^2 时, $OI \geq 0.6$ 的有 9 对, 占总种对数的

6.62%, 其中正联结 7 对(2 对显著正联结), 最大值为 0.770(药用狗牙花与厚壳桂), 负联结 2 对; $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 61 对, 其中正联结 52 对, 负联结 8 对, 无关联 1 对; $0.2 \leq OI < 0.4$ 的有 48 对, 其中正联结 11 对, 负联结 37 对; $0 < OI < 0.2$ 的有 16 对, 全部为负联结种对(2 对显著负联结); $OI = 0$ 的有 2 对, 均为负联结, 其中一对为极显著负联结, 表明种间完全不相遇, 而油丹与其他种群的 Ochiai 联结指数为 $OI > 0.6$ 的有 1 对, $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 7 对, $0.2 \leq OI < 0.4$ 的有 6 对, $OI < 0.2$ 有 2 对, 其中油丹与谷木间有最大正联结($OI = 0.567$); 当取样面积为 50 m^2 时, 没有 $OI \geq 0.6$ 的种对; $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有

16 对, 全部为正联结种对(显著正联结 5 对, 极显著正联结 1 对); $0.2 \leq OI < 0.4$ 的有 71 对, 其中正联结 39 对, 负联结 25 对, 无关联 7 对; $0.0 < OI < 0.2$ 的有 42 对, 其中正联结 4 对, 负联结 38 对(2 对显著负联结); $OI = 0$ 的有 7 对, 均为负联结, 而油丹与其他种群的 Ochiai 联结指数为 $OI > 0.4$ 的仅 1 对, 其余 15 个种对 OI 值均小于 0.4。由此可知, 两种取样面积下 $OI < 0.6$ 的种对均占绝大多数, 表明 17 物种两两间的联结强度相对偏弱, 种对间的独立性相对较强。而正负联结检验中属于无关联的几个种对的 Ochiai 指数值均不为零。

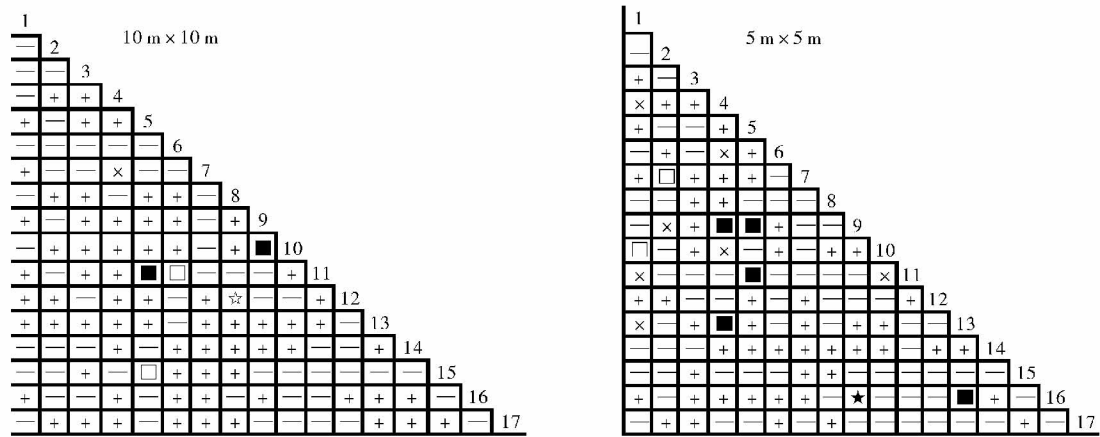


图1 油丹所在群落主要种群间联结的 X^2 检验半矩阵图

Fig. 1 Semi-matrix diagram about X^2 -test of dominant species in communities with *A. hainanensis*

×: 无关联 No correlation; ★: 极显著正相关 Very significant positive correlation; ■: 显著正相关 Significant positive correlation; +: 不显著正相关 Non positive correlation; ☆: 极显著负相关 Very significant negative correlation; □: 显著负相关 Significant negative correlation; -: 不显著负相关 Non negative correlation; 1~17 同表 1。1~17 see Table 1.

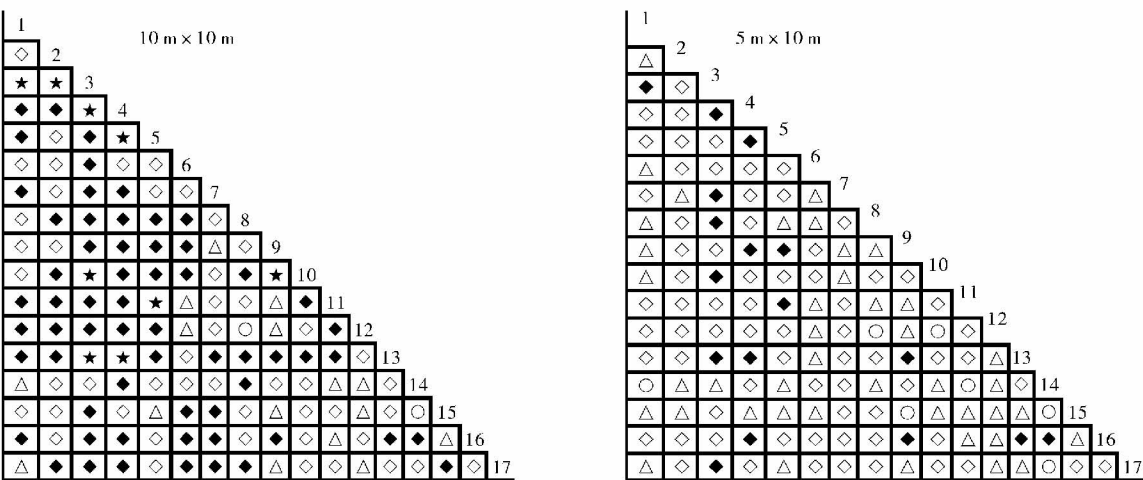


图2 油丹所在群落主要种群间联结的 Ochiai 指数半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix diagram of Ochiai association index of dominant species in communities with *A. hainanensis*

○: $OI = 0$; Δ : $0.0 < OI < 0.2$; \Diamond : $0.2 \leq OI < 0.4$; \blacklozenge : $0.4 \leq OI < 0.6$; \star : $OI \geq 0.6$; 1~17 同表 1。1~17 see Table 1.

上述结果表明种间联结性检验与种间联结度测定是进行种间联结性研究不可缺少的两个方面,它们既相互联系,相互补充,同时又相互区别,低的关联度不一定意味着没有显著的关联性,反之亦然^[21]。

3.4 油丹群落中不同优势群落的种间联结性

3.4.1 优势种群 I

9 个物种所组成的 36 个种对的总体联结性 (VR) 为 $1.004 > 1$, 采用统计量 W 检测 VR 值偏离 1 的显著性, 其 $W = 24.106$, $X^2_{0.95}(24) = 13.848$, $X^2_{0.05}(24) = 36.415$, W 在 $X^2_{0.95}(24)$ 与 $X^2_{0.05}(24)$ 之内, 说明以油丹等为优势种群的群落中 9 个优势种群之间在总体上表现出正联结, 但尚未达到显著水平, 其种的存在具有较高的独立性。经 X^2 检验为正联结有 13 对, 负联结有 19 对 (1 个显著负联结), 4 对无关联, 其中油丹与其他种群种间联结的 X^2 检验为正联结 3 对, 负联结 5 对。Ochiai 联结测度结果为 $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 17 对, $OI < 0.4$ 的有 19 对, 其中油丹与其他种群的 Ochiai 联结指数为 $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 3 对, $0.2 \leq OI < 0.4$ 的有 4 对, $OI < 0.2$ 有 1 对, 与油丹有最大正联结的为九节 ($OI = 0.527$)。而理论上讲, 正负关联比越高, 群落结构越趋于稳定, 多物种可以稳定共存, 群落达到与环境条件相适应的稳定阶段^[12]。由此可知, 以油丹等为优势种群的群落正负关联比例较低, 种间联结也不高, 群落结构还不稳定。

3.4.2 优势种群 II

9 个物种所组成的 36 个种对的总体联结性 (VR) 为 $1.139 > 1$, 采用统计量 W 检测 VR 值偏离 1 的显著性, 其 $W = 27.346$, $X^2_{0.95}(24) = 13.848$, $X^2_{0.05}(24) = 36.415$, W 在 $X^2_{0.95}(24)$ 与 $X^2_{0.05}(24)$ 之内, 说明以野茶等为优势种群的群落中 9 个优势种群之间在总体上表现出正联结, 但尚未达到显著水平, 其种的存在具有较高的独立性。经 X^2 检验为正联结 18 对, 负联结 17 对, 1 对无关联, 其中油丹与其他种群种间联结的 X^2 检验为正联结 5 对, 负联结 3 对; Ochiai 联结测度结果为 $OI > 0.6$ 的有 1 对, $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 10 对, $OI < 0.4$ 的有 25 对, 其中油丹与其他种群的 Ochiai 联结指数为 $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 2 对, $0.2 \leq OI < 0.4$ 的有 3 对, $0 < OI < 0.2$ 的有 1 对, 其余 2 对 $OI = 0$, 与油丹有最大正联结的为药用狗牙花 ($OI = 0.462$), 表明以野茶等为优势种群的群落正负关联比例较高, 一些种的种间联结性也较高, 但是多数种的种间联结还较低, 群落正处于不

断成熟完善的阶段。

3.4.3 优势种群 III

8 个物种所组成的 28 个种对的总体联结性 (VR) 为 $1.427 > 1$, 采用统计量 W 检测 VR 值偏离 1 的显著性。其 $W = 22.832$, $X^2_{0.95}(16) = 7.962$, $X^2_{0.05}(16) = 26.296$, W 在 $X^2_{0.95}(16)$ 与 $X^2_{0.05}(16)$ 之内, 说明以线枝蒲桃等为优势种群的群落中 8 个优势种群之间在总体上表现出正联结, 但尚未达到显著水平, 其种的存在具有较高的独立性。经 X^2 检验为正联结 16 对, 负联结 12 对 (1 个显著负联结), 其中油丹与其他种群种间联结的 X^2 检验为正联结 2 对, 负联结 5 对; Ochiai 联结测度结果为 $OI > 0.6$ 的有 11 对, $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 8 对, $OI < 0.4$ 的有 17 对, 其中油丹与其他种群的 Ochiai 联结指数为 $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 1 对, $0.2 \leq OI < 0.4$ 的有 3 对, $OI < 0.2$ 的有 3 对, 与油丹存在最大正联结的为黄叶树, 其 OI 值为 0.471, 表明以线枝蒲桃等为优势种群的群落正负关联比例较高, 种间联结性较高, 群落结构较稳定, 林分内资源得到较合理的利用和分配。

3.4.4 优势种群 IV

8 个物种所组成的 28 个种对的总体联结性 (VR) 为 $1.115 > 1$, 采用统计量 W 检测 VR 值偏离 1 的显著性。其 $W = 17.834$, $X^2_{0.95}(16) = 7.962$, $X^2_{0.05}(16) = 26.296$, W 在 $X^2_{0.95}(16)$ 与 $X^2_{0.05}(16)$ 之内, 说明以粗毛野桐等为优势种群的群落中 8 个优势种群之间在总体上表现出正联结, 但尚未达到显著水平, 其种的存在具有较高的独立性。经 X^2 检验为正联结 12 对 (1 个极显著正联结), 负联结 16 对, 其中油丹与其他种群种间联结的 X^2 检验为正联结 4 对, 负联结 3 对; Ochiai 联结测度结果为 $OI > 0.6$ 的有 3 对, $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 8 对, $OI < 0.4$ 的有 25 对, 其中油丹与其他种群的 Ochiai 联结指数为 $0.4 \leq OI < 0.6$ 的有 3 对, $0.2 \leq OI < 0.4$ 的有 2 对, 其余 2 对 $OI = 0$, 与油丹存在最大正联结的为谷木, 其 OI 值为 0.471, 表明以粗毛野桐等为优势种群的群落正负关联比例较低, 种间联结性较低, 群落结构还不稳定。

4 结论和讨论

种间总体关联性反映了群落的稳定性^[12]。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, 种间关系也将逐渐趋向于正相关, 以求得物种间的稳定共存^[22]。目前油丹所在群落主要树种间在总体上表现出不

显著的正联结关系,反映了该地区油丹所处群落曾受到一定的破坏,1998年“天然林保护工程”实施后,其破坏的趋势才得以遏制。目前该群落正处在趋向稳定和完善的阶段,在资源分配上还存在一定的可利用空间,多物种间的关系可能表现得比较复杂,使得群落的多物种总体呈不显著正关联性,而主要优势种群种对间的联结关系绝大多数未达到显著程度,种对间的独立性相对较强,这种种间联结的松散性可能与目前群落的发展阶段及其本身的生态学特性有关^[23]。

以 50 m² 和 100 m² 这两种取样面积的种间联结性分析可知,这两种取样面积对油丹所在群落的种间联结性测定上有一定的差异,但两者均较一致的反映了油丹所在群落主要树种间在总体上表现出不显著的正联结关系,与王伯荪等^[4]认为研究森林植被种间联结最适的取样面积是 50~100 m²,样方数是 30~50 的观点较一致。但本研究中 50 m² 面积可能相对较小, X^2 检验和 Ochiai 联结测度指数均较低,样方对在各个方向上的距离变化可能并没有超出影响油丹与其他物种之间相互作用的距离,因此,取样面积为 100 m² 对研究该地区油丹所处的群落种间联结性较适宜。

目前有油丹分布的群落中,不同优势种群下的种间联结性存在一定的差异,但多数种对间的联结均未达到显著程度,种间联结较为松散,种对间表现为较高的独立性。其中,油丹所处的不同优势种群中以线枝蒲桃等为优势种群的群落正负关联比例较高,种间联结性较高,群落结构较稳定;而以油丹及粗毛野桐等为优势种群的群落中,成对物种关联性的正负关联比均小于 1,说明此群落多数种对间可能存在某种负相关关系,体现了目前油丹群落仍具有一定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,后期侵入种间无负联结,正联结均显著^[24]。而事实上,霸王岭油丹群落大多是在遭受人类活动干扰之后而形成的次生植被。本研究的结果也反映了群落中种对间的正负关联比小于 1 与群落的次生性有一定的关联性。

油丹群落中正联结的种对,分布范围较广且个体数量较多的厚壳桂、密脉蒲桃、药用狗牙花等与多数种的联结性较强,而在群落中分布范围较窄且个体数量少的白花含笑、东方肖榄等与多数种的负联结较强。

物种间的联结性与其生态位重叠之间也有较大的相关性,在油丹群落中,有些种对的正联结是由于它们对综合环境条件具有相同或相似的需求与适应,生态习性相似,都避免相同的生态因子,在一定程度上体现了生态位的重叠性。例如,显著正联结种对黄叶树与谷木,黄叶树是常绿阔叶林的优势种,处于乔木上层,它的存在创造了群落内部特殊的植物环境,为耐荫处于灌木层的谷木提供了一个良好的生存空间。类似的还有线枝蒲桃与三角瓣花等,这些种对的正联结,主要是由于种对的双方在群落内分别占据不同高度的空间,例如,黄叶树与谷木,黄叶树位居群落的高层,主要利用群落的上层空间资源,谷木是灌木层的优势种,主要利用群落的下层空间资源,二者在高度上的空间分异,使彼此间具有相互分离的生态位,使它们避免了激烈的竞争而得以在同一个群落中共存。

种间的负联结性越强,其生态位重叠值就越小。植物种对的负联结体现了物种间的排斥性,这是长期适应不同的微环境,利用不同资源空间的结果,也是生态位分离的反映。例如,油丹群落中极显著负联结种对东方肖榄与白颜,东方肖榄在霸王岭常分布在海拔较高的山地密林中,而白颜主要分布在低海拔的山谷、溪边的湿润林中。由于对生境要求的不同而形成生态位的分离,因此二者之间表现出显著负联结。

群落中油丹种群与 16 种主要种群的联结关系均未达到显著水平,这种联结关系体现了油丹种群较强的生态适应性。但与部分树种间仍有较强的正联结关系,在取样面积为 100 m² 下,油丹与谷木存在最大的正联结关系,而与厚皮香八角、黄叶树、毛荔枝、东方肖榄、密脉蒲桃等也存在较强的正联结关系,一方面,这些树种数量多、分布广,是当地常绿阔叶林中的主要优势树种,有些处于群落的上层,对环境资源的利用能力较强,油丹与这些树种间保持一定的正联结关系,可以得到良好的栖息空间,同时可以通过保护与之正联结性较强的物种来保护油丹种群的生存环境,最终达到保护该特定物种的目的。另一方面,油丹种群与其他大部分树种间的联结性不显著,保持一定的独立性,可以降低和减弱与其他树种的相互依赖和相互竞争,各物种都能占据有利位置,有利于各树种在群落中的和谐共处。

目前在霸王岭保护区内油丹的分布范围较窄,种群极小,以大树为优势,小苗和幼树较少,不利于

幼苗的生长发育,因此,要切实保护这一濒危物种,还应尽快开展该种植物生物学、生理学、生态学和遗传多样性特性研究,为该物种的有效保护和发展提供科学依据,并可以通过适当采种育苗,以及人工种植扩大其种群数量。

参考文献

- [1] Li L H(李凌浩), Shi S B(史世斌). Preliminary study on interspecific association and combined population patterns of *Stipa bungeana* steppe community [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 1994, 13(3): 62–67.(in Chinese)
- [2] Peng S L(彭少麟), Zhou H C(周厚诚), Guo S C(郭少聪), et al. Studies on the changes in interspecific association of zonal vegetation in Dinhuashan [J]. Acta Bot Sin(植物学报), 1999, 41(11): 1239–1244.(in Chinese)
- [3] Zhang Z Y(张志勇), Tao D D(陶德定), Li D Z(李德铎). An analysis of interspecific associations of *Pinus squamata* with other dominant woody species in community succession [J]. Biodiv Sci(生物多样性), 2003, 11(2): 125–131.(in Chinese)
- [4] Wang B S(王伯荪), Peng S L(彭少麟). Studies on the measuring techniques of interspecific association of the lower subtropical evergreen broad-leaved forest: The exploration and the revision on the measuring formulas of interspecific association [J]. Acta Phytocool Geobot Sin(植物生态学与地植物学丛刊), 1985, 9(4): 274–285.(in Chinese)
- [5] Huang S N(黄世能), Li Y D(李意德), Luo T S(骆士寿), et al. Dynamics of associations between tree species in a species in a secondary tropical montane rain forest at Jianfengling on Hainan Island [J]. J Plant Ecol(植物生态学报), 2000, 24(5): 569–574.(in Chinese)
- [6] Wang L(王琳), Zhang J T(张金屯). Interspecific association and correlation of dominant species of Lishan Mountain meadow in Shanxi Province [J]. Acta Bot Boreal-Occid Sin(西北植物学报), 2004, 24(8): 1435–1440.(in Chinese)
- [7] Lou Y J(娄彦景), Zhao K Y(赵魁义). Analysis of interspecific associations of *Carex lasiocarpa* community in recent 30-year succession in Sanjiang Plain [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2008, 27(4): 509–513.(in Chinese)
- [8] Tao J P(陶建平), Zang R G(臧润国). Studies on the dynamics of seedling bank in gap of tropical montane rain forest in Bawangling, Hainan Island [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2004, 40(3): 33–38.(in Chinese)
- [9] Zhang J C(张家城), Chen L(陈力), Jiang Y X(蒋有绪), et al. Research on the change trend of dominant tree population distribution patterns during development process of climax forest communities [J]. J Plant Ecol(植物生态学报), 1999, 23(3): 256–268.(in Chinese)
- [10] Hu Y J(胡玉佳), Ding X Q(丁小球). A study on the plant species diversity of tropical natural forest in Bawangling, Hainan Island [J]. Biodiv Sci(生物多样性), 2000, 8(4): 370–377.(in Chinese)
- [11] Wang B S(王伯荪), Yu S X(余世孝), Peng S L(彭少麟). Experimental Manual of Phytocoenology [M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1996: 1–6.(in Chinese)
- [12] Zhou X Y(周先叶), Wang B S(王伯荪). An analysis of interspecific associations in secondary succession forest communities in Heishiding Natural Reserve, Guangdong Province [J]. J Plant Ecol(植物生态学报), 2000, 24(3): 332–339.(in Chinese)
- [13] Ou Z L(欧祖兰), Li X K(李先琨), Su Z M(苏宗明), et al. Interconnection among main tree populations of *Abies yuanbaoshanensis* community [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2002, 21(1): 14–18.(in Chinese)
- [14] Schluter D. A variance test for detecting species associations with some example applications [J]. Ecology, 1984, 65(3): 998–1005.
- [15] Dice L R. Measure of the amount of ecological association between species [J]. Ecology, 1945, 26: 297–302.
- [16] Zhang J T(张金屯). Quantitative Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004: 1–108.(in Chinese)
- [17] Lin C S(林长松), Li Y Y(李玉英), Zuo J H(左经会), et al. Interspecific association of dominant tree species in rare plant *Dipentodon sinicus* communities of Yushe National Forest Park, Guizhou Province [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2008, 27(2): 178–184.(in Chinese)
- [18] Zhu S C(朱圣潮). Community characteristics and interspecific association of the Songyang population of *Isoetes sinensis* [J]. Biodiv Sci(生物多样性), 2006, 14(3): 258–264.(in Chinese)
- [19] Du R Q(杜荣骞). Biostatistics [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999: 259–262.(in Chinese)
- [20] Sun L(孙澜), Su Z X(苏智先), Yang X C(严贤春), et al. Interspecific relations of the dominant plant populations at Mt. Jincheng, Sichuan, China [J]. Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报), 2008, 14(3): 314–318.(in Chinese)
- [21] Zhao Z H(赵则海), Zu Y G(祖元刚), Yang F J(杨逢建), et al. Study on the sampling technique of interspecific association of ligneous plant in *Quercus liaotungensis* forest in Dongling Mountain [J]. J Plant Ecol(植物生态学报), 2003, 27(3): 396–403.(in Chinese)
- [22] Du D L(杜道林), Liu Y C(刘玉成). Studies on the interspecific association of dominant species in a subtropical *Catanopsis fargesii* forest of Jinyun Mountain, China [J]. J Plant Ecol(植物生态学报), 1995, 19(2): 149–157.(in Chinese)
- [23] Deng X L(邓贤兰), Liu Y C(刘玉成), Wu Y(吴杨). Interconnection among dominant plant populations of *Catanopsis* community in Jinggang Mountain Nature Reserve [J]. J Plant Ecol(植物生态学报), 2003, 27(4): 531–536.(in Chinese)
- [24] Wang W J(王文进), Zhang M(张明), Liu F D(刘福德), et al. Species association in tropical montane rain forest at two successional stages in Diaoluo Mountain of Hainan Island [J]. Biodiv Sci(生物多样性), 2007, 15(3): 257–263.(in Chinese)