

doi: 10.13428/j.cnki.fjlk.2016.02.007

## 浙江普陀山古树群落木本植物种间关系

田文斌<sup>1</sup>, 周刘丽<sup>2,3</sup>, 周伟平<sup>1</sup>, 刘春涛<sup>1</sup>, 欧丹燕<sup>1</sup>, 赵延涛<sup>2,3</sup>,  
许洛山<sup>2,3</sup>, 程浚洋<sup>2,3</sup>, 朱丹妮<sup>2,3</sup>, 宋彦君<sup>2,3</sup>, 阎恩荣<sup>2,3</sup>

(1. 浙江普陀山园林管理中心, 浙江 舟山 316100; 2. 华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241;  
3. 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站, 浙江 宁波 315114)

**摘要:** 在全面踏查的基础上, 选取普陀山慧济寺旁较为完整的台湾蚊母树古木群落、逸云庵旁较为完整的罗汉松古木群落为研究样地, 以台湾蚊母树群落 30 个物种以及罗汉松群落 23 个物种为研究对象, 采用方差比率法、 $\chi^2$  统计量以及 Spearman 秩相关系数指标分别对这 2 个古树群落木本植物进行种间关联及相关性分析。结果表明: ①台湾蚊母树群落 30 个物种整体存在不显著正联结, 种间关系较为松散; 罗汉松群落 23 个物种整体存在显著正联结, 种间关系较为紧密。②物种的生态习性、对生境的要求以及垂直结构上对生境要求的互补性差异是决定这 2 个古树群落种对关系的主要因素, 且群落的起源以及群落的生境是这 2 个古树群落存在不同程度种间关系的主要原因。此研究对制定这 2 个古树群落的就地保护措施以及舟山其它岛屿的自然植被恢复等具有重要参考价值。

**关键词:** 普陀山; 台湾蚊母树; 罗汉松; 种间联结; 种间相关

中图分类号: S718.54<sup>+</sup>1 文献标识码: A 文章编号: 1002-7351(2016)02-0036-05

### Interspecific Relationships Across Woody Plant Species in Ancient Tree Communities in Putuo Mountain, Zhejiang Province

TIAN Wen-bin<sup>1</sup>, ZHOU Liu-li<sup>2,3</sup>, ZHOU Wei-ping<sup>1</sup>, LIU Chun-tao<sup>1</sup>, OU Dan-yan<sup>1</sup>, ZHAO Yan-tao<sup>2,3</sup>,  
XU Ming-shan<sup>2,3</sup>, CHENG Jun-yang<sup>2,3</sup>, ZHU Dan-ni<sup>2,3</sup>, SONG Yan-jun<sup>2,3</sup>, YAN En-rong<sup>2,3</sup>  
(1. Garden Administration of Zhoushan Putuo Mountain, Zhoushan 316100, Zhejiang, China;  
2. Department of Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200241, China;  
3. Tiantong National Forest Ecosystem Observation and Research Station, Ningbo 315114, Zhejiang, China)

**Abstract:** We selected *Distylium gracile* communities next to Huiji temple, *Podocarpus macrophyllus* community near to Yiyun hut as our study sites after overall reconnaissance in Putuo Mountain. Interspecific associations and correlations over 30 and 23 tree species were studied in *Distylium gracile* community and *Podocarpus macrophyllus* community, respectively, by using variance ratio ( $VR$ ),  $\chi^2$  test and Spearman rank correlation. The results showed that: there were non-significantly positive associations among species in *Distylium gracile* community, while significantly positive associations among species in *Podocarpus macrophyllus* community. These results suggest that species behavior, habitat acclimatization and complementary differences in habitat requirement in vertical direction might be the main driver affecting species association and correlation in these two ancient tree communities. Difference of interspecific relationships between two communities may be related to community origin and habitat properties. This study provides helpful references for protecting these two ancient tree communities and reclaiming natural vegetation on other Zhoushan islands.

**Key words:** Putuo Mountain; *Distylium gracile*; *Podocarpus macrophyllus*; interspecific correlation; interspecific association

植物与植物、植物与环境的相互作用, 使得物种的分布呈现某一格局, 在此格局基础上不同物种的组合便形成了群落<sup>[1-2]</sup>。种间关系指群落中不同物种间的相互关系, 是物种间相互联系和影响的综合反映<sup>[3]</sup>。通过研究群落的种间关系, 能客观反映群落种对间的相互依存和制约关系, 有助于揭示群落的结构、功能动态以及分类等<sup>[4]</sup>, 并能为森林经营、恢复自然植被以及生物多样性保护等提供理论依据<sup>[5-6]</sup>。因

收稿日期: 2015-07-22; 修回日期: 2015-09-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(常绿阔叶林植物构型与群落层片配置的生理学机理, 31270475)

作者简介: 田文斌(1972—), 男, 江西瑞昌人, 浙江普陀山园林管理中心工程师, 从事生态园林研究。E-mail: Pstswb@163.com。

通讯作者: 阎恩荣。E-mail: eryan@des.ecnu.edu.cn。

而具有重要的生态学意义。

舟山群岛作为我国第一大群岛,由于悠久的开发历史,原生地带性植被遭受长期的人为作用而保存无几<sup>[7]</sup>。然而在普陀山由于寺庙的庇佑,一批古树名木得以较好地保存下来。台湾蚊母树(*Distylium gracile*)为金缕梅科蚊母树属常绿乔木,分布于我国台湾省及浙江普陀,在普陀山慧济寺、佛顶山附近生长成片台湾蚊母树古木。罗汉松(*Podocarpus macrophyllus*)为罗汉松属常绿针叶乔木,具有重要的观赏和经济价值,普陀山逸云庵旁存有较为完整的罗汉松古木群落,年龄最大的罗汉松达550 a。本研究采用方差比率法、 $\chi^2$  统计量以及 Spearman 秩相关系数指标分别分析普陀2个古树群落的种间联接性以及相关性,旨在揭示各群落内各种对间的相互关系,以期对这2个古树群落的保护提供理论依据,并给舟山群岛其它岛屿的植被恢复提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域与样地概况

普陀山岛位于杭州湾南缘,舟山群岛东部海域,29°58'3"—30°2'3"N,122°21'6"—122°24'9"E,属于季风海洋型气候。年平均气温16℃,最热月(8月)平均气温25.8~28.0℃,最冷月(1月)平均气温5.2~5.9℃。年无霜期251~303 d,年均降水量927~1620 mm,适宜多种生物群落繁衍生长。但由于较早的人类活动干扰,原始植被破坏较为严重,仅一批典型的常绿阔叶林和古树名木由于得到寺庙的庇佑得以较好地保存<sup>[8]</sup>。

台湾蚊母树群落分布于慧济寺旁,在寺庙的庇佑下生长了上百年,由于该地位于坡顶,较大的风胁迫使得大多数台湾蚊母树呈现出少株高多分枝的生长状态,最大的台湾蚊母胸径达0.99 m,群落中常见种有:台湾蚊母树、天仙果(*Ficus erecta*)、红楠(*Machilus thunbergii*)、红山茶(*Sect. camellia*)、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、普陀樟(*Cinnamomum japonicum*)、朴树(*Celtis sinensis*)、茶(*Camellia sinensis*)等。罗汉松群落分布于逸云庵旁风胁迫小的沟谷地带,群落垂直方向断层现象较为明显,树木多居于乔木层与亚乔木层,灌木层树木较少,乔木层最高达14.7 m,常见物种有:罗汉松、珊瑚树(*Viburnum odoratissimum*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、青冈、香樟(*Cinnamomum camphora*)、麻栎(*Quercus acutissima*)等。

### 1.2 样地设置与调查

在全面踏查的基础上,选取慧济寺旁较为完整的台湾蚊母树群落作为台湾蚊母树研究样地,共设置20个10 m×10 m的小样方。选取逸云庵旁9个10 m×10 m的样方作为罗汉松群落的研究样地。现有调查面积已基本涵盖了普陀山台湾蚊母树群落以及罗汉松群落分布区域。样方建成后,对整个群落中所有木本植物进行逐株调查,记录种名、高度、基径、胸径、冠幅和空间坐标等。台湾蚊母树群落共调查到木本植物种类30个,罗汉松群落共调查到木本植物种类23个(表1)。

### 1.3 种间关系测定方法

1.3.1 总体联结性检验 采用方差比率法(VR)检验多物种间的总体关联性<sup>[9]</sup>。按下列公式计算VR值: $\delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i(1-P_i)$ ;  $P_i = \frac{n_i}{N}$ ;  $S_T^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2$ ;  $VR = S_T^2 / \delta_T^2$ 。式中:S为总物种数;N为总样方数; $T_j$ 为样方j内出现的总物种数; $n_i$ 为物种i出现的样方数;t为样方中物种的平均数。当VR>1时,种间为净的正关联;当VR<1时,种间为净的负关联;当VR=1时,所有种间无关联。采用统计量 $W = VR \times N$ 检验VR值偏离1的显著程度,若种间不显著关联,则 $\chi_{0.95N}^2 < W < \chi_{0.05N}^2$ 的概率有90%<sup>[10-11]</sup>。

1.3.2 种间联结性分析 根据2×2列联表的 $\chi^2$ 统计量测定成对物种间的联结性<sup>[12]</sup>,由于取样为非连续性取样,因此非连续性数据的 $\chi^2$ 值用Yates的连续校正公式计算<sup>[13]</sup>。 $\chi^2 = [(|ad-bc| - N/2)^2 \times N] / [(a+b)(b+d)(c+d)(a+c)]$ ,式中:N为总样方数;a为2个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2个种均未出现的样方数。当ad-bc=0时,种间相互独立;当ad-bc>0时,种间为正联结;当ad-bc<0时,种间为负联结。当 $\chi^2 < 3.841$ 时,2个物种独立分布;当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时,物种联结显著;当 $\chi^2 > 6.635$ 时,物种联结极显著<sup>[10]</sup>。

1.3.3 种间相关性分析 采用 Spearman 秩相关系数检验群落中物种相关性<sup>[13]</sup>,这里采用物种多度作为 Spearman 秩相关分析的数量指标。Spearman 秩相关系数( $r_s$ )计算公式为: $r_{s(ij)} = 1 - 6 \sum_{k=1}^n d_k^2 / (n^3 - n)$ ,式中: $d_k = (X_{ik} - X_{jk})$ , $X_{ik}$ 、 $X_{jk}$ 为物种*i*和物种*j*在样方*k*中的秩; $n$ 为总样方数。

## 2 结果与分析

### 2.1 台湾蚊母树古树群落种间关系

根据台湾蚊母树群落 30 个物种的存在与不存在矩阵计算台湾蚊母树群落 VR 值:  $VR = 1.25 > 1$ ,说明台湾蚊母树群落 30 个物种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。 $W = 25.1$ ,查表可知  $\chi^2_{0.05} = 31.4$ ,  $\chi^2_{0.95} = 10.9$ ,  $\chi^2_{0.95} < W < \chi^2_{0.05}$ ,VR 值偏离 1 不显著,30 个物种间存在不显著正联结。群落的种间联结性较松散。

由于  $\chi^2$  检验是以种的存在与否为依据,而台湾蚊母树在台湾蚊母树群落每个样方中均出

现,因而在  $\chi^2$  检验结果中未讨论台湾蚊母树与其它物种的联结性。 $\chi^2$  检验结果显示(图 1a、表 2): 槲木与细枝桉、棕榈,榔榆与窄基红褐桉,四川山矾与铁冬青,细枝桉与棕榈种对间存在显著正关联; 赤皮青冈与槲木、冬青、格药桉、黄连木、榔榆,红楠与四川山矾等 74 个种对间存在显著负联结。

Spearman 秩相关检验结果(图 1b、表 2)显示: 槲木与细枝桉、棕榈,黄连木与日本野桐,榄绿粗叶木与香樟,榔榆与窄基红褐桉,青冈与台湾蚊母树,四川山矾与铁冬青,蕺菜与竹柏,细枝桉与棕榈,野桐与油桐种对间存在极显著正相关; 槲木与青冈,格药桉与珊瑚树,红楠与青冈,红山茶与四川山矾、蕺菜,胡颓子与榄绿粗叶木、朴树、铁冬青,榔榆与青冈、日本野桐,青冈与细枝桉、窄基红褐桉、棕榈,日本野桐与窄基红褐桉种对间存在显著正相关; 红楠与四川山矾、铁冬青种对间存在显著负相关。

### 2.2 罗汉松古树群落种间关系

根据罗汉松群落 23 个物种的存在与不存在矩阵计算罗汉松群落 VR 值:  $VR = 2.05 > 1$ ,说明罗汉松群落 23 个物种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。 $W = 18.42$ ,查表可知  $\chi^2_{0.05} = 17.0$ ,  $\chi^2_{0.05} < W$ ,VR 值显著偏离 1,23 个物种间存在显著正联结。群落的种间联结性较紧密。

表 1 2 个古树群落的物种名录

序号	台湾蚊母树群落物种	罗汉松群落物种
1	茶( <i>Camellia sinensis</i> )	糙叶树( <i>Aphananthe aspera</i> )
2	赤皮青冈( <i>Cyclobalanopsis gilva</i> )	茶( <i>Camellia sinensis</i> )
3	槲木( <i>Aralia chinensis</i> )	大青( <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i> )
4	冬青( <i>Ilex chinensis</i> )	枫香( <i>Liquidambar formosana</i> )
5	格药桉( <i>Eurya muricata</i> )	红楠( <i>Machilus thunbergii</i> )
6	红楠( <i>Machilus thunbergii</i> )	红山茶( <i>Sect. camellia</i> )
7	红山茶( <i>Sect. camellia</i> )	胡颓子( <i>Elaeagnus pungens</i> )
8	胡颓子( <i>Elaeagnus pungens</i> )	化香( <i>Platycarya strobilacea</i> )
9	黄连木( <i>Pistacia chinensis</i> )	黄连木( <i>Pistacia chinensis</i> )
10	榄绿粗叶木( <i>Lasianthus japonicus</i> )	黄檀( <i>Dalbergia hupeana</i> )
11	榔榆( <i>Ulmus parvifolia</i> )	桉木( <i>Eurya japonica</i> )
12	朴树( <i>Celtis sinensis</i> )	罗汉松( <i>Podocarpus macrophyllum</i> )
13	普陀樟( <i>Cinnamomum japonicum</i> )	麻栎( <i>Quercus acutissima</i> )
14	青冈( <i>Cyclobalanopsis glauca</i> )	朴树( <i>Celtis sinensis</i> )
15	全缘叶冬青( <i>Ilex integra thunb</i> )	青冈( <i>Cyclobalanopsis glauca</i> )
16	日本野桐( <i>Mallotus japonicus</i> )	赛山梅( <i>Styrax confusus</i> )
17	珊瑚树( <i>Viburnum odoratissimum</i> )	山合欢( <i>Albizia kalkora</i> )
18	四川山矾( <i>Symplocos setchuensis</i> )	珊瑚树( <i>Viburnum odoratissimum</i> )
19	台湾蚊母树( <i>Distylium gracile</i> )	湿地松( <i>Pinus elliottii</i> )
20	天仙果( <i>Ficus erecta</i> )	天仙果( <i>Ficus erecta</i> )
21	铁冬青( <i>Ilex rotunda</i> )	梧桐( <i>Firmiana platanifolia</i> )
22	蕺菜( <i>Cudrania cochinchinensis</i> )	香樟( <i>Cinnamomum camphora</i> )
23	细枝桉( <i>Eurya loquaiiana</i> )	油桐( <i>Vernicia fordii</i> )
24	香樟( <i>Cinnamomum camphora</i> )	
25	野茉莉( <i>Styrax japonicus</i> )	
26	野桐( <i>Mallotus japonicus</i> )	
27	油桐( <i>Vernicia fordii</i> )	
28	窄基红褐桉( <i>Eurya rubiginosa</i> )	
29	竹柏( <i>Podocarpus nagi</i> )	
30	棕榈( <i>Trachycarpus fortunei</i> )	

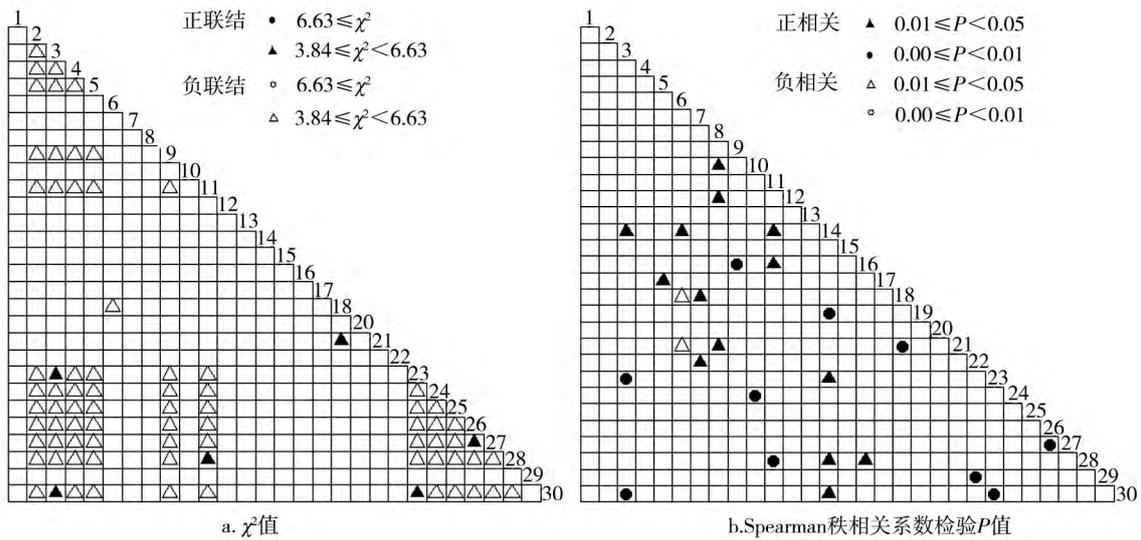


图 1 台湾蚊母树群落种间联接性与相关性半矩阵图

同样由于罗汉松在罗汉松群落每个样方中均出现,因而在  $\chi^2$  检验结果中未讨论罗汉松与其它物种的联接性。 $\chi^2$  检验结果(图 2a、表 2)显示不存在显著或极显著关联的种对。

Spearman 秩相关检验结果(图 2b、表 2)显示:红山茶与黄檀,化香与黄连木、桉木、山合欢、湿地松,黄连木与桉木、山合欢、湿地松,桉木与山合欢、湿地松,罗汉松与香樟,山合欢与湿地松种对间存在极显著正关联;糙叶树与红楠,茶与油桐,大青与梧桐,胡颓子与朴树,麻栎与珊瑚树种对间存在显著正关联;大青与朴树种对间存在显著负关联。

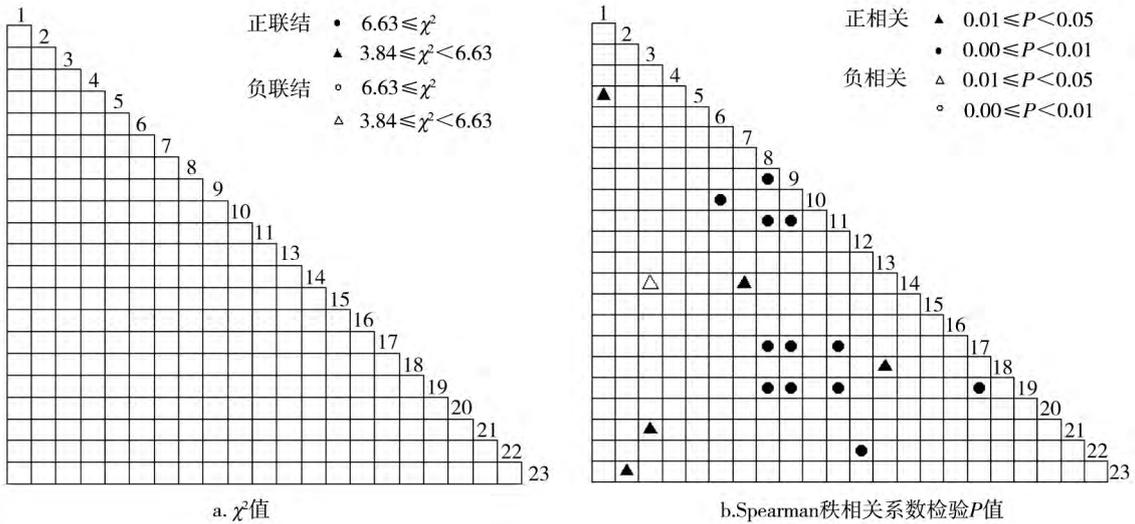


图 2 罗汉松树群落种间联接性与相关性半矩阵图

表 2  $\chi^2$  检验以及 Spearman 秩相关检验结果

群落	检验方法	正关联(相关)				负关联(相关)				无关联
		极显著	显著	不显著	总数	极显著	显著	不显著	总数	
台湾蚊母树群落	$\chi^2$ 检验	0	6	120	126	0	74	195	269	11
	Spearman 秩相关系数	10	14	116	140	0	2	288	290	5
罗汉松群落	$\chi^2$ 检验	0	0	109	109	0	0	122	122	0
	Spearman 秩相关系数	12	5	96	113	0	1	128	129	11

### 3 讨论

物种的种间关系是植物群落重要的数量和结构特征之一<sup>[14]</sup>,是群落形成、维持和演替的基础<sup>[15]</sup>,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<sup>[5-6]</sup>。本研究在运用方差比率法(VR)检验总体联结性的基础上,应用 $\chi^2$ 检验、Spearman秩相关检验分析舟山2个古树群落木本植物种间关联和相关特征:台湾蚊母树群落30个物种间存在不显著正联结,种间关系较为松散;罗汉松群落23个物种整体存在显著正联结,种间关系较为紧密。

随着群落结构以及种类组成的逐渐完善和稳定,种间关系也将逐渐趋于正相关,以求得物种间的稳定共存<sup>[14-15]</sup>。本研究结果表明:罗汉松群落总体种间联结性表现为显著正联结,台湾蚊母树群落总体则表现为不显著正联结,罗汉松群落比台湾蚊母树群落具有更为紧密的种间关系,这可能与2个古树群落具有不同的群落起源以及不同的生境有关。一方面,台湾蚊母树群落属于自然林,受人为影响较小,而罗汉松群落属于半自然人工林,群落中年龄最大的罗汉松有550 a之久,比台湾蚊母树群落具有更久的发育历史,且相关古树名木保护单位对罗汉松群落进行了长期的人为保护;另一方面,台湾蚊母树地处坡顶,受风影响很大,而罗汉松群落位于生境较为优越的沟谷地带,受风等自然因素的影响较小。因而综合以上两方面原因,罗汉松群落比台湾蚊母树群落具有更为稳定的群落结构,种间关系更为紧密。这也反映了适当的人工抚育能优化群落结构进而提高群落的稳定性,使得群落表现出较为紧密的种间关系。

台湾蚊母树群落中的椴木与细枝柃、棕榈;榔榆与窄基红褐柃,四川山矾与铁冬青,细枝柃与棕榈;罗汉松群落中麻栎与珊瑚树,香樟与罗汉松等种对间存在显著正关联(相关),这主要是由于种对间相似的生态习性或生境要求决定的。台湾蚊母树群落中红楠与四川山矾、铁冬青,罗汉松群落中大青与朴树等种对存在显著负关联(相关)的原因则在于这些种对在生态习性和生境要求上相异。在同一群落中,既有正联结(相关)种对也有负联结(相关)的种对。正联结(相关)种对产生的原因除了生态习性和生境要求的趋同性外,还应包括种对在垂直方向上对生境要求存在互补性差异:植物经长期竞争和微环境适应,种群高度生态位产生了分离,这就使得群落中一个物种的存在为另一个物种的生长营造了条件<sup>[2]</sup>。本研究中,台湾蚊母树群落中台湾蚊母树与青冈正相关,该群落中青冈多处于幼龄阶段,青冈幼体具一定耐阴性,在垂直方向上与台湾蚊母树的生境要求存在互补性差异,因而能在台湾蚊母树提供的林下环境中生长。

此外,在本研究中,2个群落中大多数呈负相关或关联的种对皆为稀有种(相对多度小于2%)。而 $\chi^2$ 检验基于物种出现与否的多元数据,与物种数量无关,因而在 $\chi^2$ 检验下,这些稀有种组成的种对多表现出负关联;Spearman秩相关检验基于树种的数量值,具有更高的敏感性,Spearman秩相关检验下呈现显著负相关的种对明显少于 $\chi^2$ 检验下显著负关联的种对。因而,在本研究中,Spearman秩相关检验的结果更贴合实际,但稀有种的存在同样也使得Spearman秩相关检验结果中不显著负相关种对较多,进而使得检验结果中负相关种对数大于正相关种对数。因而,在进行种间关系研究时,不宜根据单一指标作出结论,最好多个指标配合使用,能更准确地揭示群落中种间关系。

#### 参考文献:

- [1]刁淑清,沈海龙,潘建中.樟子松人工幼林密度与个体生长指标的关系[J].东北林业大学学报,2005,33(6):4-7.
- [2]郑振宇,龙翠玲.茂兰喀斯特森林不同地形部位木本植物种间联结性分析[J].林业资源管理,2014(4):78-84.
- [3]张璐,苏志尧,陈北光.中国特有植物:华南五针松群落的种间关系[J].生态学报,2006,26(4):1063-1072.
- [4]张忠华,胡刚.喀斯特山地青冈栎群落优势种的种间关系分析[J].生态环境学报,2011,20(8-9):1209-1213.
- [5]张峰,上官铁梁.山西翅果油树群落种间关系的数量分析[J].植物生态学报,2000,24(3):351-355.
- [6]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):458-463.
- [7]潘瑞道.舟山群岛森林植被梯度及梯度研究方法初探[J].浙江林学院科技通讯,1981(2):77-84.
- [8]钱逸凡,伊力塔,胡军飞,等.普陀山主要植物种生态位特征[J].生态学杂志,2012,31(3):561-568.
- [9]宋永昌.植被生态学[M].上海:华东师范大学出版社,2001.

(下转第48页)

- [17]李芸瑛. 不同光照强度对降香黄檀幼苗生长及光合特性的影响[J]. 农业与技术 2014, 34(3): 13-15.
- [18]吴朝辉. 不同光照强度和施肥水平对降香黄檀容器苗质量的影响[D]. 南京: 南京农业大学 2010.
- [19]莫惠芝, 吴永彬, 彭桂香, 等. 光合细菌对降香黄檀幼苗的生长效应研究[J]. 广东农业科学 2014(2): 70-74.
- [20]吴国欣, 王凌晖, 梁惠萍, 等. 氮磷钾配比施肥对降香黄檀苗木生长及生理的影响[J]. 浙江农林大学学报 2012, 29(2): 296-300.
- [21]俞月凤, 宋同清, 曾馥平, 等. 杉木人工林生物量及其分配的动态变化[J]. 生态学杂志 2013, 32(7): 1660-1666.
- [22]杜虎, 宋同清, 曾馥平, 等. 桂东不同林龄马尾松人工林的生物量及其分配特征[J]. 西北植物学报 2013, 33(2): 394-400.
- [23]李元坎, 陈奇伯, 熊好琴, 等. 滇中高原华山松人工林生物量及营养元素分配格局[J]. 西部林业科学 2014, 43(4): 54-60.
- [24]Turner J, Lambert MJ. Nutrient cycling within a 27-year-old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales [J]. *Forest Ecology and Management*, 1983, 6(2): 155-168.
- [25]Gartner BL. Stem hydraulic properties of vines vs. shrubs of western poison oak, *Toxicodendron versilobum* [J]. *Oecologia*, 1991, 87(2): 180-189.
- [26]贾瑞丰. 降香黄檀人工促成心材的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院 2014.

---

(上接第 35 页)

- [5]刘文耀, 荆贵芬, 郑征. 滇中常绿阔叶林及云南松林枯落物的初步研究[J]. 广西植物, 1989, 9(4): 347-355.
- [6]林益明, 何建源, 杨志伟, 等. 武夷山甜槠群落凋落物产量及其动态研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1999, 38(2): 280-286.
- [7]屠梦照, 姚文华, 翁轰, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物的特征[J]. 土壤学报, 1993, 30(1): 34-41.
- [8]郑征, 刘伦辉, 和爱军, 等. 西双版纳湿性季节雨林凋落物和叶虫食量研究[J]. 植物学报, 1990, 32(7): 551-557.
- [9]卢昌义, 郑逢中, 林鹏, 等. 九龙江口秋茄红树林群落凋落物量研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1988, 27(4): 459-463.
- [10]赵月彩, 杨玉盛, 陈光水, 等. 福建万木林自然保护区米槠和杉木凋落叶混合分解研究[J]. 亚热带资源与环境学报, 2009, 4(2): 53-59.
- [11]陈建忠, 刘剑斌, 肖应忠. 建阳市森林火灾时空分布特征[J]. 福建林学院学报 2010, 30(2): 119-122.

---

(上接第 40 页)

- [10]王伯荪, 彭少麟. 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订[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 274-285.
- [11]王乃江, 张文辉, 陆元昌, 等. 陕西子午岭森林植物群落种间联结性[J]. 生态学报 2010, 30(1): 67-78.
- [12]Dice LR. Measure of the amount of ecological association between species [J]. *Ecology*, 1945(26): 297-302.
- [13]张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社 2004.
- [14]邓贤兰, 刘玉成, 吴杨. 井冈山自然保护区栲属群落优势种群的种间联结关系研究[J]. 植物生态学报 2003, 27(4): 531-536.
- [15]王文进, 张明, 刘福德, 等. 海南岛吊罗山热带山地雨林两个演替阶段的种间联结性[J]. 生物多样性 2007, 15(3): 257-263.