

福建天台山半枫荷天然群落的物种组成、生态位和种间关系

叶兴状¹, 王妙青¹, 程 诺¹, 张明珠¹, 范辉华², 张国防¹, 赖日文¹, 刘 宝^{1,①}

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省林业科学研究院特色资源研究所, 福建 福州 350012)

摘要: 在实地调查的基础上,对分布于福建天台山半枫荷(*Semiliquidambar cathayensis* Chang)天然群落的物种组成、生态位特征及种间关系进行分析。结果表明:半枫荷群落乔木层和灌木层植物共有 27 科 39 属 70 种 645 株,其中,乔木层有 23 科 36 属 47 种 424 株,灌木层有 26 科 38 属 52 种 221 株。乔木层中半枫荷的重要值为 7.19%,位居第 2,为乔木层的优势种,Levins 生态位宽度和 Shannon-Weaver 生态位宽度位居第 4,而灌木层中半枫荷的重要值仅为 0.94%,生态位宽度排名也靠后。乔木层和灌木层中主要种类(重要值排名前 31 位)生态位重叠值的平均值分别为 0.571 和 0.500,并且,乔木层中半枫荷与赤杨叶[*Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino]、米槠[*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata.]和红楠(*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)等 7 个种类的生态位重叠值较大。 χ^2 检验结果显示:半枫荷群落乔木层和灌木层中多数种对呈不显著正关联,种间独立性相对较强。从共同出现百分率看,半枫荷仅与栲(*Castanopsis fargesii* Franch.)紧密关联;从联结系数看,半枫荷与木油桐(*Vernicia montana* Lour.)、毛锥(*Castanopsis fordii* Hance)、木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、山胡椒(*Lindera glauca* (Sieb. et Zucc.) Bl.)及甜槠[*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.]紧密关联。半枫荷群落稳定性交点坐标为(35.45,65.19),群落稳定性较差。综上所述,福建天台山半枫荷天然群落中,半枫荷与多数种类种间联结性不显著,其分布具有一定的独立性和随机性。由于群落中缺乏半枫荷幼苗,群落稳定性较差,种间竞争较激烈,在未来群落演替过程中,半枫荷可能会被偏阴性种类取代,建议对其进行就地保护。

关键词: 半枫荷; 物种组成; 生态位宽度; 生态位重叠; 种间联结; Godron 稳定性指数

中图分类号: Q948.2; S718.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)06-0019-10

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.06.03

Species composition, niche, and interspecific relationships of *Semiliquidambar cathayensis* natural community in Tiantai Mountain of Fujian Province YE Xingzhuang¹, WANG Miaoqing¹, CHENG Nuo¹, ZHANG Mingzhu¹, FAN Huihua², ZHANG Guofang¹, LAI Riwen¹, LIU Bao^{1,①} (1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Research Institute of Characteristic Resources, Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(6): 19-28

Abstract: On the basis of field investigation, the species composition, niche characteristics, and interspecific relationships of natural community of *Semiliquidambar cathayensis* Chang in Tiantai Mountain of Fujian Province were analyzed. The results show that there are 645 individuals belonging to 70 species in 39 genera of 27 families in arbor layer and shrub layer of *S. cathayensis* community in total, in which, there are 424 individuals belonging to 47 species in 36 genera of 23 families in arbor layer and 221

收稿日期: 2021-06-30

基金项目: 福建省第三轮种业创新与产业化工程(ZYCX-LY-2017002); 福州-定西东西部扶贫协作水土流失综合治理项目(KH180062A); 福建农林大学科技创新项目(KFA17069A)

作者简介: 叶兴状(1991—),男,福建大田人,博士研究生,主要从事濒危植物保护与利用方面的研究。

①通信作者 E-mail: fafulb@163.com

引用格式: 叶兴状, 王妙青, 程 诺, 等. 福建天台山半枫荷天然群落的物种组成、生态位和种间关系[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(6): 19-28.

individuals belonging to 52 species in 38 genera of 26 families in shrub layer. The importance value of *S. cathayensis* in arbor layer is 7.19%, ranking the second, which is the dominant species in arbor layer, and its Levins niche breadth and Shannon-Weaver niche breadth rank the fourth, while the importance value of *S. cathayensis* in shrub layer is only 0.94%, and its niche breadth is also lower. The average niche overlap values of main species (the top 31 in importance value) in arbor layer and shrub layer are 0.571 and 0.500 respectively. Moreover, niche overlap values of *S. cathayensis* with 7 species of *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino, *Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata, *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc., etc. are large. The result of χ^2 test shows that most species pairs in arbor layer and shrub layer of *S. cathayensis* community show non-significant positive association, and the interspecific independence is relatively strong. Regarding the percentage of co-occurrence, *S. cathayensis* is only closely associated with *Castanopsis fargesii* Franch.; concerning the association coefficient, *S. cathayensis* is closely associated with *Vernicia montana* Lour., *Castanopsis fordii* Hance, *Schima superba* Gardn. et Champ., *Lindera glauca* (Sieb. et Zucc.) Bl., and *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch. The coordinates of stability intersection point of *S. cathayensis* community are (35.45, 65.19), indicating that the community stability is poor. In conclusion, in the natural community of *S. cathayensis* in Tiantai Mountain of Fujian Province, there is no significant association between *S. cathayensis* and most species, and its distribution has certain independence and randomness. Due to the lack of *S. cathayensis* seedlings, poor community stability, and intense interspecific competition in the community, *S. cathayensis* may be replaced by negative species in the future community succession process, therefore, *in situ* conservation for *S. cathayensis* is recommended.

Key words: *Semiliquidambar cathayensis* Chang; species composition; niche breadth; niche overlap; interspecific association; Godron stability index

研究濒危植物所处群落的生态位特征和种间关系,是揭示濒危植物生存现状和群落演替的有效方法^[1]。研究生态位和种间关系不仅有助于加强对研究对象濒危机制的认识,分析生境差异对其分布格局的影响,还可为其保护措施的制定提供科学依据^[2]。许多濒危植物受自身生物学和生态学特性的制约,野外种群数量相对较少^[3]。濒危植物数量减少或灭绝直接影响生物多样性的稳定,进而引发生态系统结构和功能的剧烈变化^[4]。藤枣〔*Eleutharrhena macrocarpa* (Diels) Forman〕^[5]、紫纹兜兰〔*Paphiopedilum purpuratum* (Lindl.) Stein〕^[6]和长序榆(*Ulmus elongata* L. K. Fu et C. S. Ding)^[7]等国家重点保护植物的种间联结性研究,揭示了这些植物对环境的适应性及其生境地植物种群动态,为各物种多样性保护及濒危机制探索提供了理论依据。

半枫荷(*Semiliquidambar cathayensis* Chang)为中国特有种,属于深根、喜光偏阳性树种,残存于中国南方山区^[8]。半枫荷对生境条件要求苛刻,分布范围狭窄,种群规模小,大多数单株呈散生分布状态,在《中国高等植物受威胁物种名录》中被列为易危(VU)^[9-10]。半枫荷具有较大的开发价值,首先,其材质优良、树干通直,是理想的家具和工业原材料;其次,半枫荷是珍贵的药用植物,其根、叶、花和果均可

入药,且叶中有效成分种类多、含量丰富,可治疗风湿跌打、瘀积肿痛和产后风瘫等疾病^[11];再次,半枫荷具有异形叶,初春嫩叶为紫红色,深秋则有绿、黄、紫红至暗红等颜色,是中国南方潜在的园林绿化树种^[12]。然而,半枫荷的生境破坏严重,繁育更新困难,野生种群数量急剧下降,资源几近枯竭,生存现状堪忧。目前,国内学者对半枫荷的研究主要集中在育苗造林^[12]、遗传多样性^[10,13]、药用价值^[14]和优树选择^[15]等方面,有关其物种保护方面的研究较缺乏,其濒危机制的外因尚不明确,严重制约半枫荷种质资源的保护和利用。

鉴于此,本研究基于福建沙县的天台山半枫荷天然群落设置调查样地,通过分析半枫荷群落的物种组成、生态位宽度、生态位重叠、种间联结性和群落稳定性等,探讨半枫荷的生态适应能力及其与群落伴生种的竞争资源压力强度,以期半枫荷濒危机制、就地保护及迁地保护研究提供科学的理论依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于福建省三明市沙县区高桥镇桂岩村天台山,具体地理位置为东经 117°47′58.12″~

117°51'38.31"、北纬 26°39'04.02"~26°42'56.48",海拔 650~1 105 m,地处武夷山东侧支脉区域,毗邻三明萝卜岩自然保护区。该区域气候类型属于中亚热带季风气候,干湿季分明,3月至6月多阴雨,秋冬多晴,年平均气温 19.2℃,最冷月(1月)平均气温 7.5℃,极端低温-8.0℃,最热月(7月)平均气温 28.7℃,极端高温 40.1℃,年活动积温 4 978.2℃,无霜期 303 d,年降水量 1 662.4 mm,年蒸发量 817.3 mm,空气相对湿度 71%。该区域土壤以黄壤和红黄壤为主,土壤松散,偏沙壤,pH 4.3至 pH 5.5,土壤表面的凋落物和腐殖质层较厚,厚度达 4~8 cm。半枫荷集中分布在天台山的中上坡。

1.2 研究方法

于 2018 年 7 月,在对天台山全面踏查的基础上,

采用典型抽样法,以半枫荷生长的位置为中心设置样地。考虑到野生半枫荷数量稀少且呈零星分布,结合半枫荷的分布位置和地形,设置 4 个面积 20 m×20 m 的样地(表 1),调查面积合计 1 600 m²。调查并记录样地中所有半枫荷的胸径(DBH)、枝下高、株高、冠幅和经纬度等信息。将每个样地划分为 4 个面积 10 m×10 m 的样方,调查并记录每个样方中乔木层所有植株(DBH≥5 cm)的种名、胸径、株高、冠幅、枝下高和经纬度等信息。在每个样地四角及中心设置 5 个面积 5 m×5 m 的小样方,调查并记录灌木层所有植株的株高、胸径(地径)和盖度。胸径使用围径尺(精度 1 mm)测量,株高、冠幅和枝下高使用哈光林业测高器 CGQ-1(精度 0.5 m)测量,盖度采用方格法估测。

表 1 福建天台山半枫荷调查样地的基本情况

Table 1 Basic situation of survey plots of *Semiliquidambar cathayensis* Chang in Tiantai Mountain of Fujian Province

样地编号 No. of plot	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Aspect	郁闭度 Coverage	群落类型 Community type
P1	E117°49'36"	N26°40'31"	775	41.3	南 South	0.70	次生常绿阔叶林 Secondary evergreen broad-leaved forest
P2	E117°49'35"	N26°39'39"	772	42.3	东南 Southeast	0.75	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest
P3	E117°49'35"	N26°39'38"	821	42.3	南 South	0.80	次生常绿阔叶林 Secondary evergreen broad-leaved forest
P4	E117°49'32"	N26°39'35"	750	37.1	南 South	0.70	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest

1.3 数据处理

1.3.1 生态位和种间联结 分别对乔木层和灌木层的种类进行统计和整理,计算各种类的重要值、Levins 生态位宽度^[16]、Shannon-Weaver 生态位宽度^[17]和生态位重叠值^[18]。

基于调查数据,建立“样方-物种”组成的 2×2 联列表,采用方差比率(VR)^[19]检验群落的种间总体关联性。VR=1,表示群落的种间总体关联性不显著;VR>1,表示群落的种间总体关联性为正关联;VR<1,表示群落的种间总体关联性为负关联。若种间总体关联性不显著,则 $\chi_{0.95}^2 < W < \chi_{0.05}^2$ 的概率为 90%。

根据已建立的 2×2 联列表,用 χ^2 统计量检测种间关联性。若 $\chi^2 \geq 3.841$,则种间呈显著性关联;若 $\chi^2 < 3.841$,则种间呈不显著关联。然后,对关联不显著的种进一步利用结合点相关系数(PCC)、联结系数(AC)、关联度指数(OI)和共同出现百分率(PC)等综合分析,以测定联结程度即关联度是否紧密^[20]。其中,PC≥0.6 为紧密关联;PCC≥0.6 或 AC≥0.6 表示紧密正关联;PCC≤-0.6 或 AC≤-0.6 表示紧密负

关联;PC=0.0 或 AC=0.0 表示种间完全独立。

1.3.2 群落 Godron 稳定性指数 采用郑元润^[21]改进的 Godron 稳定性指数法测定群落稳定性,对群落中乔木层所有种类按照相对频度由大到小排序,将乔木层种总数倒数累计百分比与相对频度累计百分比一一对应,采用散点图平滑曲线模拟一元二次方程与线性方程 $y=100-x$ 的交点坐标,判断群落的稳定性,交点越接近群落的稳定点(20,80),群落越稳定。

1.3.3 数据处理和分析 采用 EXCEL 2010 和 SPSS 23.0 软件对数据进行处理和分析。因灌木层基本没有半枫荷幼苗和幼树,所以种间联结性和群落稳定性仅统计乔木层。

2 结果和分析

2.1 群落物种组成、重要值和生态位宽度分析

2.1.1 群落物种组成 调查结果(表 2 和表 3)显示:半枫荷群落乔木层和灌木层植物共有 27 科 39 属 70 种 645 株,其中,乔木层有 47 种 424 株,隶属于 23 科 36 属,灌木层有 52 种 221 株,隶属于 26 科 38 属。在

表2 福建天台山半枫荷天然群落乔木层物种组成及生态位宽度¹⁾Table 2 Species composition and niche breadth of arbor layer of *Semiliquidambar cathayensis* Chang natural community in Tiantai Mountain of Fujian Province¹⁾

种(变种)Species (variety)	IV/%	B _L	B _{SW}	种(变种)Species (variety)	IV/%	B _L	B _{SW}
栲 <i>Castanopsis fargesii</i> (151)	20.16	3.980	1.384	樟 <i>Cinnamomum camphora</i> (2)	0.85	1.992	0.691
半枫荷 <i>Semiliquidambar cathayensis</i> (26)	7.19	3.340	1.279	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (4)	0.84	1.000	0.000
锥栗 <i>Castanea henryi</i> (16)	6.26	2.688	1.043	山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i> (2)	0.78	1.000	0.000
赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i> (28)	6.04	3.741	1.352	福建山矾 <i>Symplocos fukienensis</i> (3)	0.71	1.000	0.000
大叶苦柯 <i>Lithocarpus paihengii</i> (22)	5.40	2.831	1.068	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i> (3)	0.66	1.000	0.000
马尾松 <i>Pinus massoniana</i> (16)	5.09	1.567	0.548	格药铃 <i>Eurya muricata</i> (3)	0.66	1.999	0.693
枫香树 <i>Liquidambar formosana</i> (17)	4.96	2.757	1.161	树参 <i>Dendropanax dentiger</i> (2)	0.65	1.999	0.693
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> (7)	3.04	2.781	1.056	樟叶泡花树 <i>Meliosma squamulata</i> (2)	0.64	1.000	0.000
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i> (14)	2.74	3.217	1.267	钟花樱桃 <i>Prunus campanulata</i> (2)	0.59	2.000	0.693
红楠 <i>Machilus thunbergii</i> (11)	2.44	3.258	1.276	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i> (2)	0.58	1.999	0.693
木油桐 <i>Vernicia montana</i> (9)	2.03	1.449	0.489	黄牛奶树 <i>Symplocos cochinchinensis</i> var. <i>laurina</i> (2)	0.57	2.000	0.693
山槐 <i>Albizia kalkora</i> (7)	1.92	3.941	1.379	蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i> (2)	0.57	1.000	0.000
毛锥 <i>Castanopsis fordii</i> (4)	1.57	2.985	1.096	荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i> (2)	0.37	1.000	0.000
杨桐 <i>Adinandra millettii</i> (6)	1.50	1.931	0.675	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (1)	0.36	1.000	0.000
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i> (5)	1.48	2.988	1.097	浙江润楠 <i>Machilus chekiangensis</i> (2)	0.36	1.000	0.000
油茶 <i>Camellia oleifera</i> (8)	1.33	1.000	0.000	柯 <i>Lithocarpus glaber</i> (1)	0.36	1.000	0.000
野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>silvestris</i> (8)	1.30	2.981	1.095	亮叶桦 <i>Betula luminiifera</i> (1)	0.32	1.000	0.000
芬芳安息香 <i>Styrax odoratissimus</i> (5)	1.26	2.000	0.693	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> (1)	0.31	1.000	0.000
木荷 <i>Schima superba</i> (5)	1.23	2.992	1.097	枳椇 <i>Hovenia acerba</i> (1)	0.29	1.000	0.000
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (3)	1.06	1.766	0.625	黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i> (1)	0.29	1.000	0.000
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (3)	1.05	1.956	0.682	蕁树 <i>Altingia chinensis</i> (1)	0.28	1.000	0.000
欏木 <i>Loropetalum chinense</i> (5)	1.02	1.834	0.647	南烛 <i>Vaccinium bracteatum</i> (1)	0.28	1.000	0.000
细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i> (3)	0.88	1.789	0.633	薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i> (1)	0.28	1.000	0.000
山胡椒 <i>Lindera glauca</i> (3)	0.85	1.000	0.000				

¹⁾ IV: 重要值 Importance value; B_L: Levins 生态位宽度 Levins niche breadth; B_{SW}: Shannon-Weaver 生态位宽度 Shannon-Weaver niche breadth. 括号内数据表示株数 The datum in brackets indicates the individual number.

表3 福建天台山半枫荷天然群落灌木层物种组成及生态位宽度¹⁾Table 3 Species composition and niche breadth of shrub layer of *Semiliquidambar cathayensis* Chang natural community in Tiantai Mountain of Fujian Province¹⁾

种(变种)Species (variety)	IV/%	B _L	B _{SW}	种(变种)Species (variety)	IV/%	B _L	B _{SW}
栲 <i>Castanopsis fargesii</i> (14)	7.15	2.683	1.175	浙江润楠 <i>Machilus chekiangensis</i> (2)	1.09	0.000	0.000
杨桐 <i>Adinandra millettii</i> (14)	6.80	2.903	1.165	马银花 <i>Rhododendron onatum</i> (2)	1.03	1.000	0.000
油茶 <i>Camellia oleifera</i> (13)	6.04	2.350	1.032	米碎花 <i>Eurya chinensis</i> (1)	1.01	1.000	0.000
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i> (13)	4.90	2.374	1.002	杨梅 <i>Myrica rubra</i> (1)	0.94	0.000	0.000
草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i> (14)	4.63	2.295	0.935	半枫荷 <i>Semiliquidambar cathayensis</i> (2)	0.94	0.000	0.000
薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i> (9)	4.20	1.440	0.483	五月茶 <i>Antidesma bunius</i> (3)	0.90	1.983	0.689
百两金 <i>Ardisia crispa</i> (15)	4.05	3.383	1.305	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (1)	0.88	1.000	0.000
山胡椒 <i>Lindera glauca</i> (7)	3.99	1.939	0.677	山莓 <i>Rubus corchorifolius</i> (2)	0.89	1.455	0.492
芬芳安息香 <i>Styrax odoratissimus</i> (8)	3.69	2.093	0.907	落霜红 <i>Ilex serrata</i> (2)	0.80	1.279	0.376
南烛 <i>Vaccinium bracteatum</i> (6)	3.33	2.570	1.010	木荷 <i>Schima superba</i> (3)	0.80	1.000	0.000
欏木 <i>Loropetalum chinense</i> (6)	3.21	2.014	0.848	黄牛奶树 <i>Symplocos cochinchinensis</i> var. <i>laurina</i> (1)	0.71	1.000	0.000
红楠 <i>Machilus thunbergii</i> (4)	2.97	1.540	0.652	细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i> (2)	0.71	1.385	0.451
格药铃 <i>Eurya muricata</i> (4)	2.79	1.250	0.352	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i> (2)	0.67	1.427	0.476
短尾越橘 <i>Vaccinium carlesii</i> (5)	2.62	2.971	1.094	尖叶四照花 <i>Cornus elliptica</i> (1)	0.63	1.000	0.000
豆腐柴 <i>Premna microphylla</i> (6)	2.46	1.384	0.543	算盘子 <i>Glochidion puberum</i> (1)	0.60	1.000	0.000
朱砂根 <i>Ardisia crenata</i> (7)	2.42	2.449	0.964	杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i> (2)	0.58	1.000	0.000
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> (8)	2.16	1.000	0.000	日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i> (1)	0.57	1.000	0.000
荚蒾 <i>Viburnum dilatatum</i> (5)	2.09	1.629	0.692	秤星树 <i>Ilex asprella</i> (1)	0.51	1.000	0.000
窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i> (3)	2.03	1.905	0.668	密花山矾 <i>Symplocos congesta</i> (1)	0.48	1.000	0.000
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (3)	1.83	1.522	0.526	山槐 <i>Albizia kalkora</i> (1)	0.48	1.000	0.000
小叶石楠 <i>Photinia parvifolia</i> (3)	1.67	1.982	0.689	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i> (1)	0.48	1.000	0.000
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i> (4)	1.66	1.985	0.689	锐尖山香圆 <i>Turpinia arguta</i> (1)	0.45	1.000	0.000
轮叶蒲桃 <i>Syzygium grijsii</i> (3)	1.37	1.209	0.316	野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>silvestris</i> (1)	0.41	1.000	0.000
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i> (3)	1.30	2.317	0.912	赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i> (1)	0.37	1.000	0.000
黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i> (3)	1.29	1.841	0.806	蕁树 <i>Altingia chinensis</i> (1)	0.36	1.000	0.000
杜茎山 <i>Maesa japonica</i> (3)	1.27	1.800	0.636	树参 <i>Dendropanax dentiger</i> (1)	0.34	1.000	0.000

¹⁾ IV: 重要值 Importance value; B_L: Levins 生态位宽度 Levins niche breadth; B_{SW}: Shannon-Weaver 生态位宽度 Shannon-Weaver niche breadth. 括号内数据表示株数 The datum in brackets indicates the individual number.

乔木层和灌木层中,株数超过10株的种类分别占乔木层和灌木层种数的19.1%和11.5%,其株数分别占乔木层和灌木层株数的71.0%和37.6%;乔木层和灌木层仅有1株的植物分别有9和16种,分别占乔木层和灌木层种数的19.1%和30.8%。

半枫荷群落中栲(*Castanopsis fargesii* Franch.)的株数最多,有165株,占总株数的25.6%;半枫荷有28株,占总株数的4.3%;赤杨叶[*Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino]、虎皮楠[*Daphniphyllum oldhami* (Hemsl.) Rosenthal]、大叶苦柯(*Lithocarpus paihengii* Chun et Tsiang)、油茶(*Camellia oleifera* Abel.)、杨桐[*Adinandra millettii* (Hook. et Arn.) Benth. et Hook. f. ex Hance]和百两金[*Ardisia crispa* (Thunb.) A. DC.]的株数也较多,均在15株及以上。

2.1.2 重要值特征 调查结果显示:乔木层中,栲的重要值最大,为20.16%;半枫荷的重要值次之,为7.19%,是乔木层优势种之一;重要值大于5%的种类还有锥栗[*Castanea henryi* (Skan) Rehd. et Wils.]、赤杨叶、大叶苦柯和马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)。灌木层中,栲的重要值也最大,为7.15%,而半枫荷的重要值仅为0.94%,位居第31,表明半枫荷幼树(幼苗)数量稀少,天然更新弱;重要值大于5%的种类还有杨桐和油茶。栲在4个样地的分布较均匀,数量较多;与栲相比,半枫荷的分布不均匀,优势不明显,数量仅为栲的17.0%。

2.1.3 生态位宽度特征 调查结果(表2和表3)显示:乔木层中,半枫荷的重要值位居第2,Levins生态位宽度和Shannon-Weaver生态位宽度位居第4,Levins生态位宽度和Shannon-Weaver生态位宽度分别为3.340和1.279,说明半枫荷在群落中并不是处在优势地位,适应能力较弱。而栲的重要值和生态位宽度均最大,Levins生态位宽度和Shannon-Weaver生态位宽度分别为3.980和1.384,生态适应能力较强,且栲在各样方分布较均匀,竞争能力较强。虽然锥栗、马尾松和木油桐(*Vernicia montana* Lour.)等种类的重要值排名靠前,但这些种类只分布在个别样方中,生态位宽度排名相对靠后。与之相反,山槐[*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain]、黄牛奶树[*Symplocos cochinchinensis* var. *laurina* (Retzius) Nootboom]、钟花櫻桃[*Prunus campanulata* (Maxim.) Yü et Li]和野柿(*Diospyros kaki* var. *silvestris* Makino)等种类的重要值排名相对靠后,但这些种类分布的样方和频度均较

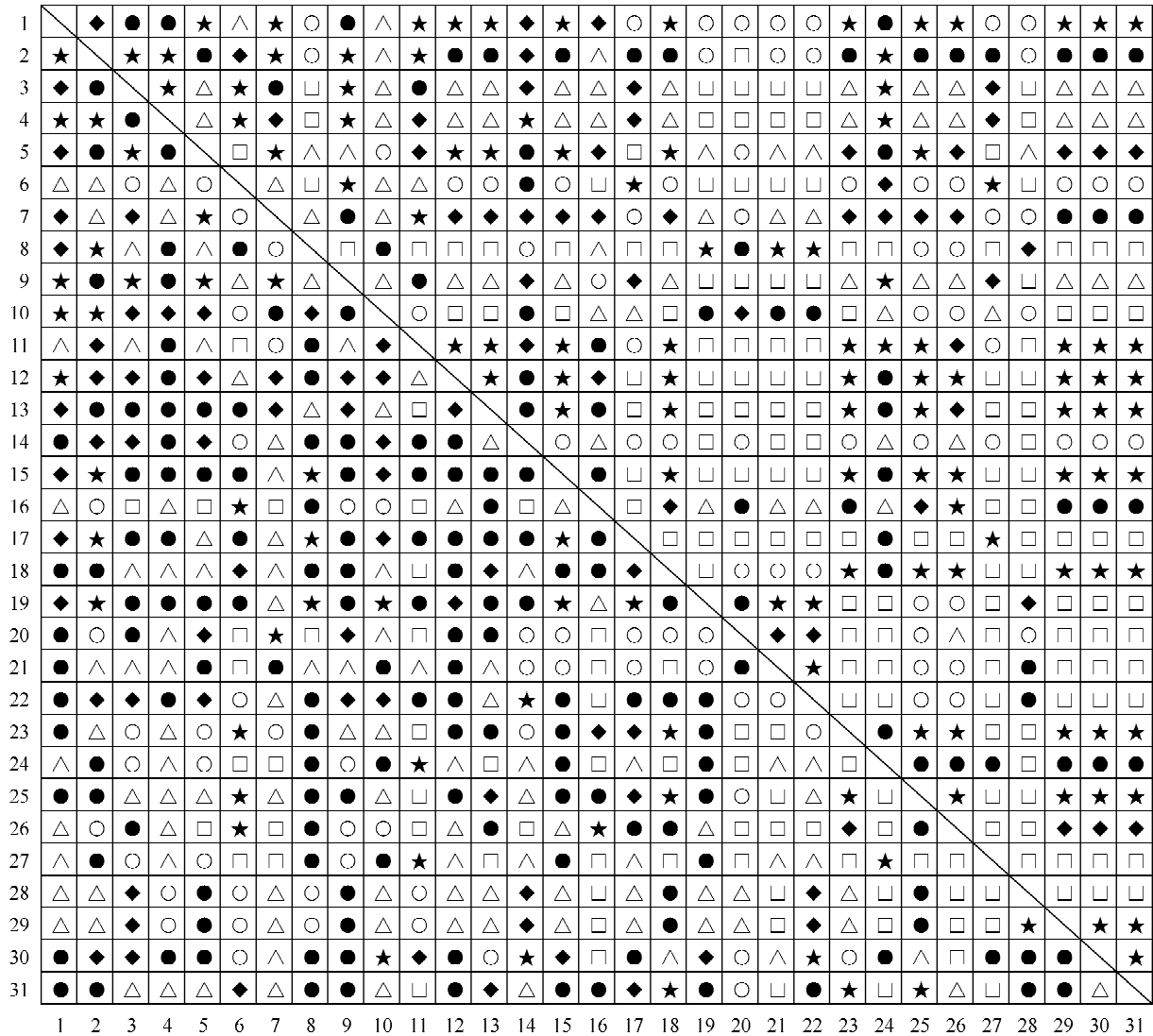
多,生态位宽度排名相对靠前。毛锥(*Castanopsis fordii* Hance)、南酸枣[*Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill]和木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)虽然分布的样方较少,频度较小,但胸高断面积较大,三者的生态位宽度排名也相对靠前。

灌木层,半枫荷仅在P1样地的1个样方中分布2株,其重要值和生态位宽度排名均靠后。与之相反,虽然百两金重要值排名第7,但其生态位宽度最大,Levins生态位宽度和Shannon-Weaver生态位宽度分别为3.383和1.305。此外,短尾越橘(*Vaccinium carlesii* Dunn)、杨桐、栲、南烛(*Vaccinium bracteatum* Thunb.)、朱砂根(*Ardisia crenata* Sims)、虎皮楠和油茶的生态位宽度也较大,在各样方基本都有分布。而米槠[*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata]、浙江润楠(*Machilus chekiangensis* S. Lee)、马银花(*Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch.)、米碎花(*Eurya chinensis* R. Br.)、杨梅(*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.)和青冈[*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.]等种类的生态位宽度较小,仅在1个样地有分布,与半枫荷相似。

2.2 群落种类生态位重叠和种间联结

2.2.1 生态位重叠特征 半枫荷天然群落乔木层和灌木层主要种类(重要值排名前31位)的生态位重叠值(NOV)见图1。由图1可见:乔木层主要种类生态位重叠值的平均值为0.571,其中,半枫荷与赤杨叶、米槠和红楠(*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)等7个种类的生态位重叠值大于0.9,与乔木层其他主要种类的生态位重叠值的平均值为0.720; $0.9 \leq \text{NOV} \leq 1.0$ 的种对有43对,占总种对数的9.2%,其中,生态位重叠值为1.0的种对有4对,分别是油茶和杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、芬芳安息香(*Styrax odoratissimus* Champ. ex Benth.)和树参[*Dendropanax dentiger* (Harms) Merr.]、山胡椒[*Lindera glauca* (Sieb. et Zucc.) Bl.]和山乌柏(*Triadica cochinchinensis* Lour.)以及福建山矾(*Symplocos fukienensis* Ling)和野漆[*Toxicodendron succedaneum* (Linn.) O. Kuntze];生态位重叠值小于0.2的种对有62对,占总种对数的13.3%,其中生态位重叠值大于0.5的种对有312对,占总种对数的67.1%,表明多数种对的生态位重叠值较高。

灌木层主要种类生态位重叠值的平均值为



★: 0.9 ≤ NOV ≤ 1.0; ◆: 0.8 ≤ NOV < 0.9; ●: 0.6 ≤ NOV < 0.8; △: 0.4 ≤ NOV < 0.6; ◻: 0.2 ≤ NOV < 0.4; ◻: 0.0 ≤ NOV < 0.2.

乔木层主要种类 Main species in arbor layer: 1. 栲 *Castanopsis fargesii* Franch.; 2. 半枫荷 *Semiliquidambar cathayensis* Chang; 3. 锥栗 *Castanea henryi* (Skan) Rehd. et Wils.; 4. 赤杨叶 *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino; 5. 大叶苦柯 *Lithocarpus paihengii* Chun et Tsiang; 6. 马尾松 *Pinus massoniana* Lamb.; 7. 枫香树 *Liquidambar formosana* Hance; 8. 米槠 *Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hayata; 9. 虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii* (Hemsl.) Rosenthal; 10. 红楠 *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.; 11. 木油桐 *Vernicia montana* Lour.; 12. 山槐 *Albizia kalkora* (Roxb.) Prain; 13. 毛锥 *Castanopsis fordii* Hance; 14. 杨桐 *Adinandra milletii* (Hook. et Arn.) Benth. et Hook. f. ex Hance; 15. 南酸枣 *Choerospondias axillaris* (Roxb.) B. L. Burt et A. W. Hill; 16. 油茶 *Camellia oleifera* Abel.; 17. 野柿 *Diospyros kaki* var. *silvestris* Makino; 18. 芬芳安息香 *Styrax odoratissimus* Champ. ex Benth.; 19. 木荷 *Schima superba* Gardn. et Champ.; 20. 甜槠 *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.; 21. 苦槠 *Castanopsis sclerophylla* (Lindl. et Paxton) Schottky; 22. 榿木 *Loropetalum chinense* (R. Br.) Oliver; 23. 细齿叶桉 *Eurya nitida* Korthals; 24. 山胡椒 *Lindera glauca* (Sieb. et Zucc.) Bl.; 25. 樟 *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl; 26. 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; 27. 山乌柏 *Triadica cochinchinensis* Lour.; 28. 福建山矾 *Symplocos fukienensis* Ling; 29. 野漆 *Toxicodendron succedaneum* (Linn.) O. Kuntze; 30. 格药桉 *Eurya muricata* Dunn; 31. 树参 *Dendropanax dentiger* (Harms) Merr. 灌木层主要种类 Main species in shrub layer: 1. 栲 *C. fargesii*; 2. 杨桐 *A. milletii*; 3. 油茶 *C. oleifera*; 4. 虎皮楠 *D. oldhamii*; 5. 草珊瑚 *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai; 6. 薄叶山矾 *Symplocos anomala* Brand; 7. 百两金 *Ardisia crispa* (Thunb.) A. DC.; 8. 山胡椒 *L. glauca*; 9. 芬芳安息香 *S. odoratissimus*; 10. 南烛 *Vaccinium bracteatum* Thunb.; 11. 榿木 *L. chinense*; 12. 红楠 *M. thunbergii*; 13. 格药桉 *E. muricata*; 14. 短尾越橘 *Vaccinium carlesii* Dunn; 15. 豆腐柴 *Premna microphylla* Turcz.; 16. 朱砂根 *Ardisia crenata* Sims; 17. 米槠 *C. carlesii*; 18. 莢蒾 *Viburnum dilatatum* Thunb.; 19. 窄基红褐桉 *Eurya rubiginosa* var. *attenuata* H. T. Chang; 20. 甜槠 *C. eyrei*; 21. 小叶石楠 *Photinia parvifolia* (Pritz.) Schneid.; 22. 苦槠 *C. sclerophylla*; 23. 轮叶蒲桃 *Syzygium grijsii* (Hance) Merr. et Perry; 24. 黄檀 *Dalbergia hupeana* Hance; 25. 黄绒润楠 *Machilus grijsii* Hance; 26. 杜茎山 *Maesa japonica* (Thunb.) Moritz. ex Zoll.; 27. 浙江润楠 *Machilus chekiangensis* S. Lee; 28. 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch.; 29. 米碎花 *Eurya chinensis* R. Br.; 30. 杨梅 *Myrica rubra* Sieb. et Zucc.; 31. 半枫荷 *S. cathayensis*.

图1 福建天台山半枫荷天然群落乔木层(斜线下方)和灌木层(斜线上方)主要种类(重要值排名前31位)的生态位重叠值(NOV)
 Fig. 1 Niche overlap value (NOV) of main species (the top 31 in importance value) in arbor layer (under the oblique line) and shrub layer (above the oblique line) of *Semiliquidambar cathayensis* Chang natural community in Tiantai Mountain of Fujian Province

0.500,其中, $0.9 \leq \text{NOV} \leq 1.0$ 的种对有 97 对,占总种对数的 20.9%,生态位重叠值为 1.0 的种对有 4 对,分别为小叶石楠 [*Photinia parvifolia* (Pritz.) Schneid.] 和苦槠 [*Castanopsis sclerophylla* (Lindl. et Paxton) Schottky]、米碎花和杨梅、半枫荷和米碎花以及半枫荷和杨梅;生态位重叠值大于 0.5 的种对有 231 对,占总种对数的 49.7%;而生态位重叠值小于 0.1 的种对有 91 对,占总种对数的 19.6%,生态位重叠值为 0.0 的种对有 66 对,占总种对数的 14.2%。

2.2.2 种间联结特征 半枫荷天然群落中半枫荷与乔木层主要种类(重要值排名前 31 位)的联结性指标见表 4。结果显示:总体关联性的方差比率(VR)为 1.062(大于 1),且检验统计量(W)为 16.984,介于 $\chi_{0.95}^2 \leq W \leq \chi_{0.05}^2$ 之间,表明该群落主要种类总体上呈

现不显著正关联。

从表 4 可知:半枫荷与乔木层主要种类的 χ^2 小于 3.841 ($P > 0.05$),说明其与乔木层主要种类联结不显著。从联结系数(AC)和结合点相关系数(PCC)看,与半枫荷正联结的种类有 20 种,占乔木层主要种类数(除去半枫荷)的 66.67%,负联结的有 9 种,占乔木层主要种类数的 30.00%。 $|AC| > 0.6$ 的仅有 5 种,其中,木油桐、毛锥、木荷和山胡椒为紧密正关联,甜槠 [*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.] 为紧密负关联。而 $|AC| < 0.4$ 的有 17 种,占乔木层主要物种数的 56.67%;除了甜槠和木油桐,其余种类的 $|PCC|$ 都小于 0.5;除了栲、赤杨叶和木油桐外,其余种类的共同出现百分率(PC)均小于 0.5,说明半枫荷与大部分乔木的关联性不强或倾向于正联结。

表 4 福建天台山半枫荷天然群落中半枫荷与乔木层主要种类(重要值排名前 31 位)的联结性指标

Table 4 Association indexes between *Semiliquidambar cathayensis* Chang and main species (the top 31 in importance value) in arbor layer of *S. cathayensis* natural community in Tiantai Mountain of Fujian Province

种(变种) Species (variety)	χ^2	结合点相关系数 Point correlation coefficient	联结系数 Association coefficient	关联度指数 Ochiai index	共同出现百分率 Percentage of co-occurrence
栲 <i>Castanopsis fargesii</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.625
锥栗 <i>Castanea henryi</i>	0.017	0.163	0.143	1.690	0.417
赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i>	0.000	0.149	0.111	1.633	0.571
大叶苦柯 <i>Lithocarpus pahengii</i>	0.017	0.098	0.067	1.000	0.462
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	0.485	-0.313	-0.360	-2.846	0.154
枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	0.559	-0.323	-0.543	-2.586	0.333
米槠 <i>Castanopsis carlesii</i>	0.000	0.149	0.333	1.512	0.273
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>	0.017	-0.098	-0.111	-0.926	0.308
红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	0.017	0.163	0.143	1.690	0.417
木油桐 <i>Vernicia montana</i>	2.347	0.522	0.690	6.000	0.500
山槐 <i>Albizia kalkora</i>	0.000	0.149	0.333	1.512	0.273
毛锥 <i>Castanopsis fordii</i>	0.684	0.372	0.607	3.928	0.300
杨桐 <i>Adinandra millettii</i>	0.175	0.244	0.467	2.556	0.364
南酸枣 <i>Choerospondias axillaris</i>	0.246	0.041	0.111	0.408	0.182
油茶 <i>Camellia oleifera</i>	0.246	0.041	0.111	0.408	0.182
野柿 <i>Diospyros kaki</i> var. <i>silvestris</i>	0.246	0.041	0.111	0.408	0.182
芬芳安息香 <i>Styrax odoratissimus</i>	0.000	0.149	0.333	1.512	0.273
木荷 <i>Schima superba</i>	0.684	0.372	0.607	3.928	0.300
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	3.309	-0.620	-0.659	-5.477	0.000
苦槠 <i>Castanopsis sclerophylla</i>	0.152	0.293	0.524	3.000	0.200
欏木 <i>Loropetalum chinense</i>	0.246	0.041	0.111	0.408	0.182
细齿叶柃 <i>Eurya nitida</i>	0.246	-0.289	-0.467	-2.694	0.083
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	0.684	0.372	0.607	3.928	0.300
樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.152	-0.098	-0.200	-0.943	0.091
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.152	-0.098	-0.200	-0.943	0.091
山乌柏 <i>Triadica cochinchinensis</i>	0.152	0.293	0.524	3.000	0.200
福建山矾 <i>Symplocos fukienensis</i>	0.152	0.293	0.524	3.000	0.200
野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	0.152	0.293	0.524	3.000	0.200
格药柃 <i>Eurya muricata</i>	0.152	-0.098	-0.200	-0.943	0.091
树参 <i>Dendropanax dentiger</i>	1.371	-0.488	-0.576	-4.472	0.000

2.3 群落稳定性分析

结果(图2)显示:半枫荷群落乔木层种类 Godron 稳定性指数曲线模拟方程 $y = -0.009 9x^2 + 1.821 9x + 13.044 0$ ($R^2 = 0.990 6$) 与线性方程 $y = 100 - x$ 的交点坐标为 (35.45, 65.19), 离群落稳定点 (20, 80) 相对较远。

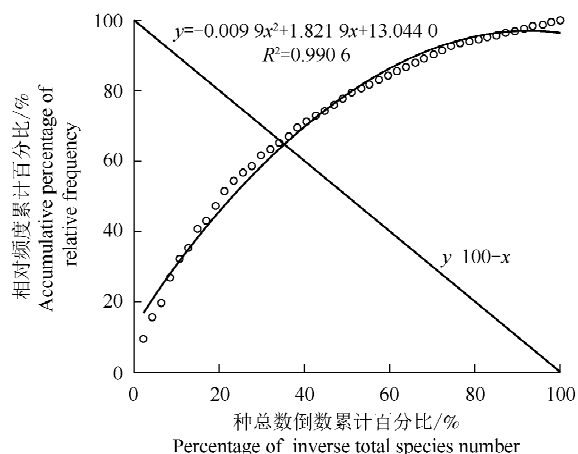


图2 福建天台山半枫荷天然群落乔木层种类的 Godron 稳定性
Fig. 2 Godron stability of species in arboreal layer of *Semiliquidambar cathayensis* Chang natural community in Tiantai Mountain of Fujian Province

3 讨 论

本研究中,福建沙县天台山半枫荷群落乔木层和灌木层植物有 27 科 39 属 70 种 645 株,而半枫荷数量仅占总株数的 4.3%。半枫荷群落类型为次生常绿阔叶林和针阔混交林,林分层次结构明显。其中,乔木层优势种有栲、半枫荷、锥栗、赤杨叶、大叶苦柯、马尾松和枫香树等,灌木层优势种有栲、杨桐、油茶、虎皮楠、草珊瑚 [*Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai]、薄叶山矾 (*Symplocos anomala* Brand) 和百两金等。调查中发现,半枫荷母树周围无更新苗,仅在 1 个样地有 2 株幼树,且均由周围母树根分蘖而来,说明半枫荷自然更新能力较弱。这可能是由于半枫荷为枫香树属 (*Liquidambar* Linn.) 和蕈树属 (*Altingia* Noronha) 的天然杂交种^[22],种子的败育率高、饱满程度低;此外,半枫荷种群规模小,大多数单株呈散生分布状态,迫使其采取自花授粉,不利于开花坐果,这也是导致其种子自然繁殖能力相对较弱的重要原因^[10,23]。调查中还发现,现有的半枫荷绝大多数散生于枫香树、木

荷和栲等高大乔木的中下层,难以获得充足的阳光和养分,导致其幼苗难以存活,这可能是造成半枫荷濒危的主要原因^[10,15,24]。笔者对福建省内主要的半枫荷群落调查后发现,只有在 3 个郁闭度较低的竹林生境的半枫荷群落存在更新苗(未公布数据),而沙县天台山半枫荷群落平均郁闭度高达 0.737,加之凋落物层较厚,不利于半枫荷种子萌发,间接印证了半枫荷天然更新能力弱。笔者利用 SRAP 和 EST-SSR 分子标记均得出半枫荷遗传多样性较高的结果,说明遗传多样性不是导致半枫荷濒危的主要原因^[10,13]。结合本研究结果,半枫荷自身的繁育特性、群落郁闭度较高和较多负联结高大乔木挤占半枫荷生态位可能是导致其濒危的主要原因。

对半枫荷种群生态位研究发现,重要值与生态位宽度反映其在群落中的地位并非完全一致,说明植物种类的分布频度可能也是影响生态位宽度的重要因子。植物种类的重要值越大,生态位不一定越宽^[25]。如在乔木层中,半枫荷虽然重要值较大(7.19%,第 2 位),而生态位宽度相对较小(Levins 生态位宽度 3.340,第 4 位),可能是由于栲、锥栗、山槐和赤杨叶等占据相同资源位的种类是大径级植株主要组成部分,且这些种类分布更均匀、重要值变异系数更小。锥栗的重要值和 Levins 生态位宽度分别为 6.26% (第 3 位) 和 2.688 (第 14 位),而山槐的重要值和 Levins 生态位宽度分别为 1.92% (第 12 位) 和 3.941 (第 2 位)。这是因为锥栗集中分布在 P2 和 P3 样地中,且其胸高断面面积较大,具有较高的重要值;山槐虽然重要值相对较小,但其分布较锥栗更均匀,在每个样地均有分布,导致其生态位宽度较大。在灌木层中,与山槐类似,百两金、短尾越橘、南烛和朱砂根等均为生态位宽度排名较重要值更靠前,这是因为除重要值外,分布频度和重要值变异系数也是影响生态位宽度的主要因子。本研究中,半枫荷的生态位宽度较大,其在研究区内分布均匀性不高,如灌木层中仅在 P1 样地的 1 个样方紧邻分布 2 株半枫荷,表明其在天台山的生态适应能力一般。桫欏 [*Alsophila spinulosa* (Wall. ex Hook.) R. M. Tryon]^[25]、红豆杉 [*Taxus wallichiana* var. *chinensis* (Pilg.) Florin]^[26]、四药门花 [*Tetrathyrium subcordatum* (Benth.) Oliver]^[27] 和海南五针松 (*Pinus fenzeliana* Hand.-Mzt.)^[28] 的生态位宽度在群落中均较大,本研究也得出相似结果,说明生态位宽度与半枫荷濒危没有必然联系。

生态位重叠值能够反映2个种群对同一资源位的共同利用程度以及种群间占据资源位的交错程度。半枫荷群落乔木层和灌木层主要种类生态位重叠值大于0.5的种对分别占67.1%和49.7%,生态位重叠值的平均值分别为0.571和0.500,说明半枫荷与群落中主要种类的生态位重叠值较高,可能与赤杨叶和红楠等种类间存在较大的环境资源需求相似性、种间竞争较激烈以及群落稳定性较差有关。乔木层中半枫荷与赤杨叶、红楠、南酸枣、木荷、野柿、米楮、杨桐和山槐等种类不仅生态位重叠较高而且他们的生态位宽度也较大,这可能是由于这些种类在生境中资源利用谱较宽,对环境的适应能力强,对资源的利用能力也强,因此当他们出现在同一群落时,较易获得充足的资源,因而生态位容易出现较大重叠。张国强等^[26]对红豆杉的研究也得到相似的结果。然而,半枫荷与甜楮、油茶和杉木等种类的生态位重叠值较小,这可能是由于这些种类对生态因子的需求与半枫荷的相似性较低、种间竞争较温和有关。与半枫荷生态位重叠值最高的红楠稍耐阴,为喜微酸性而多腐殖质土壤的速生树种,且在各样地中均与半枫荷伴生,生长速度快于半枫荷,资源竞争激烈;赤杨叶与半枫荷的生态位重叠值仅次于红楠,赤杨叶适应性较强,生长迅速,为强阳性树种,分布于常绿阔叶林中。实际调查中发现,半枫荷常分布于山谷、阔叶林及竹林中,南酸枣、野柿、米楮、格药柃(*Eurya muricata* Dunn)、杨桐、山槐和黄牛奶树等都适生于湿润山地阳坡的阔叶林中,与半枫荷的生长环境较为相似。但生态位重叠值也只能反映出种对间资源的需求和利用的相似程度,不能完全反映其竞争关系^[5]。

本研究中,与半枫荷呈正联结的种对数占总种对数的66.7%;半枫荷与乔木层主要种类的联结系数(AC)、关联度指数(OI)和结合点相关系数(PCC)检验结果基本一致。 χ^2 检验结果表明:该群落中半枫荷与乔木层主要种类的种间关联不显著,说明半枫荷与这些种类间尚未达到稳定共存的格局。这与濒危植物长序榆^[7]和黄梅秤锤树(*Sinojackia huangmeiensis* J. W. Ge et X. H. Yao)^[29]的种间联结性结果相似。半枫荷与木油桐、毛锥和木荷和山胡椒呈紧密正关联(AC \geq 0.6)。处于同一林层的种类呈正关联,如处于林冠上层的半枫荷与木油桐、毛锥、山乌柏和苦楮等,可能是由于他们在资源利用和生境需求方面的相似性,也可能是由于天台山半枫荷群落的资源有限;而

处于不同林层的种类在生态位上出现重叠,种间关系表现为正关联,如半枫荷与次林层的山胡椒、木荷和福建山矾等,可能是因为他们对环境和资源的需求一致性较高。此外,虽然甜楮、树参和枫香树与半枫荷呈负关联(AC \leq -0.5),但这3个种类与半枫荷生态位重叠值却较小,这可能是由于半枫荷与同林层的甜楮、树参和枫香树具有排斥性以及对环境和资源的需求存在较强的竞争关系。由于半枫荷多为单株散生分布,虽然天台山半枫荷种群是福建省内已发现的规模最大种群,但供试样本数量依然偏少,因此,本研究仅初步分析了福建天台山半枫荷群落现状和种间关系的外在生态特征,群落内种间复杂的内在生态过程还需进一步分析。

半枫荷群落稳定性交点坐标为(35.45, 65.19),离稳定点(20, 80)较远,其群落稳定性低于藤枣^[5],但略高于受到择伐干扰的思茅松(*Pinus kesiya* Royle ex Gordon)^[30],同时与群落总体联结性不显著的结果相印证,也与实地调查结果相一致(该群落几无幼苗、龄级断层严重),说明天台山半枫荷群落稳定性相对较差。实地调查发现,半枫荷林下无幼苗,种群的径级结构呈纺锤型,缺少幼树及幼苗,为衰退种群,表明半枫荷幼树(幼苗)需经历高强度种间竞争才能长成大树,故随着群落的演替,半枫荷群落种间竞争将可能越来越激烈,在未来群落演替过程中,半枫荷可能会被偏阴性树种取代。栲、赤杨叶、米楮、苦楮、红楠、南酸枣、野柿、木荷、黄绒润楠(*Machilus grijsii* Hance)、格药柃、豆腐柴、莢蒾、欏木、米碎花和杨梅等与半枫荷生态位重叠值较高的种类,有可能危及半枫荷的生存和繁衍,加之受自身生殖特性限制,半枫荷的种群规模呈逐渐缩小的趋势。濒危植物与群落中其他物种的正关联性越强,则种间互补性越强,可提高资源利用率,增强群落的稳定性^[29,31]。为更有效地保护和利用半枫荷天然种群,应尽快建立保护小区,同时可适当疏伐上层高大乔木和开林窗以改善林下环境,适度清除与其竞争激烈的种类,如减少甜楮、树参和枫香树等显著负联结的种类,提高半枫荷种子发芽率及幼苗存活率,促进半枫荷天然种群的正常生长与更新,使半枫荷种群规模得以壮大。

致谢: 野外调查得到福建农林大学林学院何宗明研究员和郑世群副教授以及顺昌县林业技术科技推广中心和沙县区林业局的大力支持,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 吴霖东, 李婷婷, 傅国林, 等. 极小种群野生植物浙江安息香的生态位和种间关系[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(4): 459-474.
- [2] 潘元琪, 杜彦君, 陈文德, 等. 植物物候是否能解释物种共存: 以浙江古田山亚热带常绿阔叶林为例[J]. 中国科学: 生命科学, 2020, 50(4): 362-372.
- [3] 刘宝, 陈存及, 陈世品, 等. 福建明溪闽楠天然林群落种间竞争的研究[J]. 福建林学院学报, 2005, 25(2): 117-120.
- [4] DE SEQUEIRA M M, JARDIM R, GOUVEIA M, et al. Population decline in the critically endangered *Musschia isamberti* (Campanulaceae) endemic to Desertas Islands (Madeira Archipelago) calls for urgent conservation management[J]. Journal for Nature Conservation, 2021, 60: 125955.
- [5] 李帅锋, 郎学东, 黄小波, 等. 藤枣生境地木本植物种间关联性与群落稳定性[J]. 生物多样性, 2020, 28(3): 350-357.
- [6] 潘发光, 林喜珀, 顾惠怡, 等. 广东阳春鹅凰嶂省级自然保护区紫纹兜兰群落种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(1): 52-60.
- [7] 杜有新, 王军峰, 梁炜, 等. 浙江九龙山国家级自然保护区长序榆群落的结构特征及种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(5): 66-74.
- [8] YE X Z, ZHAO G H, ZHANG M Z, et al. Distribution pattern of endangered plant *Semiliquidambar cathayensis* (Hamamelidaceae) in response to climate change after the last interglacial period[J]. Forests, 2020, 11(4): 434.
- [9] 覃海宁, 杨永, 董仕勇, 等. 中国高等植物受威胁物种名录[J]. 生物多样性, 2017, 25(7): 696-744.
- [10] 叶兴状, 张明珠, 刘益鹏, 等. 基于 SRAP 标记半枫荷天然种群的遗传多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(4): 60-68.
- [11] 田晓明, 颜立红, 蒋利媛, 等. 基于 UHPLC-QTOF/MS 代谢组学技术比较分析半枫荷不同组织化学成分[J]. 植物生理学报, 2021, 57(6): 1311-1318.
- [12] 姚凯霖, 谢宜芬, 林先国, 等. 插穗来源及生根剂选取对半枫荷扦插生根的影响[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(4): 86-89.
- [13] 叶兴状, 文国卫, 张明珠, 等. 珍稀濒危植物半枫荷的遗传多样性及遗传结构[J]. 植物科学学报, 2021, 39(4): 415-423.
- [14] 廖娜, 梁秋玲, 高幸玲, 等. 热回流法优化半枫荷总黄酮提取工艺[J]. 广西科技大学学报, 2019, 30(2): 93-96, 128.
- [15] 罗仕祥. 濒危植物半枫荷生境调查及优树选择技术[J]. 林业勘察设计, 2020(1): 46-50.
- [16] LEVINS R. Evolution in Changing Environments; Some Theoretical Explorations[M]. Princeton: Princeton University Press, 1968: 39-65.
- [17] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication: unknown distance function [M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 30-119.
- [18] 王刚, 赵松岭, 张鹏云, 等. 关于生态位定义的探讨及生态位重叠计测公式改进的研究[J]. 生态学报, 1984, 4(2): 119-127.
- [19] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [20] 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. 种间联结测式的探讨与修正[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 274-285.
- [21] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探[J]. 林业科学, 2000, 36(5): 28-32.
- [22] 吴伟. 阿丁枫科的自然杂交、亲缘地理学与物种形成模式[D]. 广州: 中山大学生命科学学院, 2009: 18-38.
- [23] 任朝辉, 王莲辉, 田华林, 等. 贵州半枫荷濒危成因分析[J]. 贵州林业科技, 2014, 42(2): 34-36.
- [24] 徐燕, 吕丹, 黄佩萍, 等. 宜春区域半枫荷生境及其生长情况分析[J]. 现代园艺, 2020, 43(19): 63-64, 66.
- [25] 李丘霖, 宗秀虹, 邓洪平, 等. 赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究[J]. 西北植物学报, 2017, 37(7): 1422-1428.
- [26] 张国强, 巨天珍, 刘文桢, 等. 天水小陇山红豆杉群落特征的生态学意义[J]. 林业科学研究, 2020, 33(5): 184-190.
- [27] 俞筱押, 余瑞, 黄娟, 等. 贵州茂兰国家级自然保护区四药门花群落各层次优势种群的种间联结性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 24-32.
- [28] 游娟. 海南五针松群落的种内和种间关系研究[D]. 北京: 北京林业大学自然保护区学院, 2017: 19-38.
- [29] 王世彤, 吴浩, 刘梦婷, 等. 极小种群野生植物黄梅秤锤树群落结构与动态[J]. 生物多样性, 2018, 26(7): 749-759.
- [30] 贾呈鑫卓, 李帅锋, 苏建荣, 等. 择伐对思茅松天然林乔木种间与种内关系的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38(12): 1296-1306.
- [31] 王泳腾, 黄治昊, 王俊, 等. 濒危植物黄檗的生存压力研究[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(1): 49-57.

(责任编辑: 张明霞)