

doi:10.3969/j.issn.1001-4616.2025.06.008

闽南山地细齿叶柃群落结构、生态位 分化与种间互作机制

汪国彬¹, 高伟², 刘宜滨¹, 周显臻², 肖志坚¹, 沈德祥¹, 郭水土¹

(1.福建省半林国有林场,福建泉州 350699)
(2.福建林业职业技术学院林学系,福建南平 353011)

[摘要] 为深入探究蜜源植物细齿叶柃的群落特征、优势种种间关系,揭示其环境适应策略并预测群落演替趋势,研究团队在闽南山地设置 1 hm² 样地,对细齿叶柃天然群落展开全面调查与数据分析。结果表明:(1)细齿叶柃群落包含 78 种植物,分属 30 科 52 属。不同层次优势种显著不同,乔木层中细齿叶柃重要值达 49.95,马尾松为 47.61;灌木层里细齿叶柃重要值为 60.99,杨桐为 59.28;草本层中芒萁重要值高达 83.93。(2)优势种生态位宽度在各层次差异明显,乔木层马尾松(B_L 为 22, B_S 为 3.15)和细齿叶柃(B_L 为 20.07, B_S 为 3.1)最大,灌木层冬青(B_L 为 21.59, B_S 为 3.13)最大,草本层狗脊蕨(B_L 为 20.69, B_S 为 3.07)和草珊瑚(B_L 为 20.58, B_S 为 3.07)较大。生态位重叠指数表明,乔木层均值为 0.30,细齿叶柃与部分树种重叠值高,如与茜树、罗浮柿重叠值高于 0.9;灌木层均值为 0.59,细齿叶柃与杨桐高度重叠(0.962);草本层均值为 0.45,菝葜与鸡屎藤重叠值最大(1.092)。(3)群落总体联结性方面,乔木层和灌木层方差比率分别为 2.078 和 4.408,呈显著正联结;草本层方差比率为 0.633,呈不显著负联结;优势种种间相关性复杂,不同层次显著相关种对比例和正负相关性各异。(4)通过聚类将乔木层划分为 3 个生态组,灌木层划分为 4 个生态组,草本层划分为 2 个生态组。研究结果为细齿叶柃群落的保护、管理以及柃属植物资源的合理开发利用提供了重要的科学依据。

[关键词] 细齿叶柃,群落特征,优势种,种间关系,生态位,生态种组

[中图分类号]S718.54 [文献标志码]A [文章编号]1001-4616(2025)06-0070-09

Community Structure, Niche Differentiation and Interspecific Interaction Mechanisms of *Eurya nitida* Communities in the Mountainous Areas of Southern Fujian

Wang Guobin¹, Gao Wei², Liu Yibin¹, Zhou Xianzhen²,
Xiao Zhijian¹, Shen Dexiang¹, Guo Shuitu¹

(1. Banlin State-owned Forest Farm in Fujian Province, Quanzhou 350699, China)
(2. Department of Forestry, Fujian Forestry Vocational and Technical College, Nanping 353011, China)

Abstract: To explore the community characteristics of the nectariferous plant *Eurya nitida*, the interspecific relationships of its dominant species, reveal its environmental adaptation strategies, and predict the community succession trend, a sample plot (1 hm²) was established in the mountainous area of southern Fujian. A comprehensive investigation and data analysis were carried out on the natural community of *Eurya nitida*. The results are as follows: (1) The *Eurya nitida* community consists of 78 plant species, belonging to 30 families and 52 genera. The dominant species vary significantly among different layers. In the tree layer, the importance value of *Eurya nitida* reaches 49.95, and that of *Pinus massoniana* is 47.61. In the shrub layer, the importance value of *Eurya nitida* is 60.99, and that of *Adinandra millettii* is 59.28. In the herb layer, the importance value of *Dicranopteris dichotoma* is as high as 83.93. (2) The niche breadths of dominant species show obvious differences among different layers. In the tree layer, *Pinus massoniana* ($B_L = 22, B_S = 3.15$) and *Eurya nitida* ($B_L = 20.07, B_S = 3.1$) have the largest niche breadths. In the shrub layer, *Ilex chinensis* ($B_L = 21.59, B_S = 3.13$) has the largest niche

收稿日期:2025-02-19.

基金项目:福建省教育厅中青年教师教育科研项目重点项目(JZ230077)、福建林业职业技术学院科研创新团队研究项目(2021LK01).

通讯作者:高伟,博士,副教授,研究方向:森林物种多样性构建机制. E-mail:gao0127@163.com

breadth. In the herb layer, *Woodwardia japonica* ($B_L = 20.69, B_S = 3.07$) and *Sarcandra glabra* ($B_L = 20.58, B_S = 3.07$) have relatively large niche breadths. The niche overlap index indicates that the average value in the tree layer is 0.30, and *Eurya nitida* has high overlap values with some tree species. For example, its overlap values with *Aidia cochinchinensis* and *Diospyros morrisiana* are higher than 0.9. The average value in the shrub layer is 0.59, and *Eurya nitida* has a high overlap with *Adinandra millettii* (0.962). The average value in the herb layer is 0.45, and the maximum overlap value occurs between *Smilax china* and *Paederia foetida* (1.092). (3) In terms of the overall connectivity of the community, the variance ratios of the tree layer and the shrub layer are 2.078 and 4.408, respectively, showing significant positive connectivity. The variance ratio of the herb layer is 0.633, showing non-significant negative connectivity. The interspecific correlations of dominant species are complex, with different proportions of significantly correlated species pairs and different positive and negative correlations in different layers. (4) Through clustering analysis, the tree layer is divided into 3 ecological groups, the shrub layer into 4 ecological groups, and the herb layer into 2 ecological groups. The research results provide important scientific basis for the protection and management of the *Eurya nitida* community and the rational development and utilization of *Eurya* plant resources.

Key words: *Eurya nitida*, community characteristics, dominant species, interspecific relationships, niche, ecological species groups

柃属植物为山茶科常绿灌木或小乔木,其叶形和开花时的香气与桂花相似,被称为野桂花、山桂花。这类植物广泛分布于长江流域及其以南的广大省区,是极为珍稀的蜜源植物,所产蜂蜜品质超凡,堪称“蜜中之冠”^[1-2]。其花蜜不仅具备清热、补中、解毒、润燥等功效,深受国内外消费者青睐,更是在古代被列为皇宫贡品。医学研究表明,柃属植物具有较高的药学价值。近年来,已从柃属植物的叶片中提取到了抗白血病细胞的有效物质^[3-4]。此外,柃属植物还因其独特的观赏价值,成为不可多得的观花观果园林植物,已逐步被引入园林造景领域,在日本、英国等地被广泛用于室内盆景制作与园艺栽培^[5-6]。尤其在�本,柃木作为“神木”被当作民间祭祖礼佛的圣洁供品,向日本出口柃木已成为中国浙江省的重要出口创汇项目^[7]。因此,继续开展柃属植物研究,充分挖掘其在食品、医药、园林等多领域的价值,对于推动相关产业发展及满足人们对高品质生活的追求等方面均具有重要意义。

柃属植物在中国境内分布类型多达 81 种 13 变种及 4 变型,西起藏滇,东至台湾省,西南抵云南边境,南自海南,北至长江北岸^[8]。目前研究主要集中在资源分布^[7,9-11]、分类学^[12-14]、繁殖技术^[15-17]、生理生态学^[18-20]等领域,在品种上主要针对细齿叶柃 (*Eurya nitida*)、格药柃 (*Eurya muricata*)、柃木 (*Eurya japonica*)、滨柃 (*Eurya emarginata*)、翅柃 (*Eurya alata*)、细枝柃 (*Eurya loquaiana*) 等。当下,中国的柃属植物资源还有大量种类未被利用,同时,作为出口创汇的重要资源,野生柃属植物正遭受着人为的过度采伐,其野生种类和数量正在急剧减少,柃属植物在观赏和插花方面的价值也未得到完全开发利用。因此,对现有柃属植物资源进行充分调查、规划、开发利用,并基于野生资源保护探索人工栽培技术已成为当务之急。

植物群落特征研究可揭示生态系统中能量流动、物质循环等功能的运行机制,探明目标植物在群落中的地位及环境适应策略,明晰生态系统的复杂程度与稳定性^[21-22]。柃属植物作为亚热带常绿林的关键组分,其群落结构特征与种间互作机制是维持生态系统功能的核心。已有研究多聚焦于单一物种的资源分布或繁殖特性^[2,6],而对天然群落的生态位分化及种间联结性关注不足,其群落优势种配置、生态位重叠模式及其对群落稳定性的影响仍属未知,这极大地阻碍了对野生资源的深入了解和保护开发利用策略的科学制定。鉴于此,本研究以闽南山地细齿叶柃天然群落为对象,通过设置野外大样地,开展全面调查分析,拟解决以下问题:(1)细齿叶柃群落的物种多样性如何响应区域水热条件?(2)优势种间通过何种策略实现资源分配与共存?(3)生态种组划分能否为人工群落构建提供理论框架?

1 研究区概况

试验地位于福建省安溪半林国有林场(117°59'E,25°0'N),位于福建省东南部,包含半林和竹园两个区域,交通条件便利。属典型的中亚热带季风气候,气候温和,雨量充沛,年平均温度 17.4 °C,极端最高气温 34.8 °C,最低气温 -5.4 °C;年降水量 1 939.5 mm,全年无霜期 344 d。土壤主要为红壤,部分为黄红壤,成土母质多为中生土带火山岩及燕山期花岗岩,土壤平均厚度 75 mm。林下植被主要包括芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)、沿阶草 (*Ophiopogon bodinieri*) 等。

2 材料与方方法

2.1 样地设置

2024 年 9 月,在野外踏查的基础上,选择细齿叶柃集中分布的水洋工区 009 林班 03 大班 050 小班设置样地,总面积为 1 hm²,位于坡度 15°~20°、东南向的半阴坡,以控制光照强度的空间差异(平均冠层开度 32%±5%),样地内枯落物覆盖率为 85%~90%,人为干扰指数<5%。利用激光测距仪测定样方内微地形(高差<2 m),确保土壤类型(红壤)与厚度(75±10 cm)均一。利用 RTK 定位、全站仪等,现场确定样地的 4 个顶点,并设置永久水泥标桩(10×10×60 cm),测量标桩坐标。用全站仪将样地分成 25 个 20×20 m 的样方,在样方交汇点设水泥桩,记录每个点的起始点位和目标点位、水平距离、垂直距离、仪器高度和标杆高度。

2.2 调查方法

以胸径(DBH)为基准,将 DBH≥5 cm 的乔木、灌木个体划为乔木层,将 DBH<5 cm 的乔木幼苗、灌木个体划为灌木层。对样方内 DBH≥1 cm 的木本植物进行每木调查并挂牌,用围径尺测量胸径,用测高杆测量树高。同时,记录样方内出现的所有灌木和草本的种名和数量。

2.3 数据计算

以样方为单位进行数据计算,区分乔木层、灌木层、草本层,统计样地内所有物种的科、属、种数。

2.3.1 物种重要值计算

$$IV_1 = (RD+RP+RF)/3, \quad (1)$$

$$IV_2 = (RD+RC+RF)/3. \quad (2)$$

式中, IV_1 为乔木树种重要值, IV_2 为灌木或草本重要值, RD 为相对多度, RP 为相对优势度, RF 为相对频度, RC 为相对盖度。

2.3.2 生态位宽度计算

分别使用 Levins(1968)指数和 Shannon-Wiener 指数计算^[21]:

$$\text{Levins(1968)指数:} \quad B_{(L)i} = \frac{1}{\sum_{j=1}^r (P_{ij})^2}, \quad (3)$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数:} \quad B_{(SW)i} = -\sum_{j=1}^r (P_{ij} \ln P_{ij}). \quad (4)$$

式中, $B_{(L)i}$ 和 $B_{(SW)i}$ 分别为种 i 的 Levins 生态位宽度和 Shannon-Wiener 生态位宽度, $P_{ij} = n_{ij}/N_i$,它代表种 i 在第 j 个资源上的重要值占该种总重要值的比例, n_{ij} 代表种 i 在第 j 个资源上的重要值, N_i 代表物种 i 在所有资源上的重要值, r 为样方数。

生态位重叠指数使用 Levins(1968)指数计算:

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r (P_{ij}P_{kj})}{\sum_{j=1}^r (P_{ij})^2}, \quad (5)$$

式中, O_{ik} 代表种 i 的资源利用曲线与种 k 的资源利用曲线的重叠指数。

2.3.3 种间联结性计算

采用零关联模型导出方差比率测定群落总体联结性,导出过程如下:

$$\delta_r^2 = \sum_{i=1}^s P_i(1-P_i), \quad (6)$$

$$S_r^2 = (1/N) \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2, \quad (7)$$

$$P_i = n_i/N, \quad (8)$$

$$VR = S_r^2/\delta_r^2. \quad (9)$$

式中, S 为物种总数, N 为样方总数, T_j 为样方 j 内出现的研究物种总数, n_i 为物种 i 出现的样方数, \bar{x}_i 为每个样方的平均物种数, P_i 为物种 i 出现的频度, S_T 为所有样方物种数的方差, δ_T 为所有物种出现频度的方差, VR 为群落内植物种间的总体关联指数.在独立性假设条件下 VR 的期望值为1,若 $VR>1$,表示物种间为正关联;若 $VR<1$,表示物种间为负关联.采用检验统计量 $W(W=VR\times N)$ 来检验 VR 偏离1的显著程度^[23].

2个物种的种间相关性采用 Pearson 相关系数(r_{ik})、Spearman 秩相关系数($r(i,k)$)进行分析,计算公式如下:

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^N (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}}, \quad (10)$$

式中, x_{ij} 和 x_{kj} 分别为物种 i 和物种 k 在样方 j 中的多度,

$$r(i,k) = 1 - \frac{6 \times \sum_{j=1}^N (x_{ij} - x_{kj})^2}{N^3 - N}. \quad (11)$$

式中, x_{ij} 和 x_{kj} 分别为物种 i 和物种 k 在样方 j 中的顺序秩, N 为样方总数.

重要值用 Excel 2003 计算,选取重要值排序前 20 位的乔木和灌木树种,排序前 10 位的草本植物计算种间联结性和生态位,群落整体联结性在 R 3.6.3 软件中采用 spaa 包中的 sp.assoc 函数计算,种群生态位宽度及生态位重叠指数用 spaa 包中的 niche.width() 和 niche.overlap() 函数计算,Pearson 相关分析和 Spearman 相关分析在 SPSS 18.0 中完成,以生态位重叠值为指标进行层次聚类分析,以反映物种的生态相似性^[21].

3 结果与分析

3.1 群落植物种类组成及优势种重要值

野外调查发现,细齿叶桉天然群落共出现植物 78 种,分属 30 科 52 属.其中乔木层有 21 科 37 属 53 种,山茶科(Theaceae)、樟科(Lauraceae)等分布广泛,细齿叶桉、马尾松(*Pinus massoniana*)等植物重要值较高,其次为刨花润楠(*Machilus pauhoi*)和密花树(*Rapanea nerifolia*);灌木层含 16 科 29 属 35 种,樟科、杜鹃花科常见,细齿叶桉和杨桐(*Adinandra millettii*)重要值较高,其次为刨花润楠、冬青(*Ilex chinensis*)、杜鹃(*Rhododendron simsii*),部分植物与乔木层重合;草本层有 13 科 16 属 17 种,主要为芒萁、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*),其次为草珊瑚(*Sarcandra glabra*)和菝葜(*Smilax china*)等.

由表 1 可见,细齿叶桉天然群落不同层次优势植物生态位宽度差异较大.乔木层 B_L 介于 2.94~22, B_S 介于 1.25~3.15;灌木层 B_L 介于 2.96~21.59, B_S 介于 1.76~3.13;草本层 B_L 介于 4.83~20.69, B_S 介于 1.72~3.07.采用 Levins 和 Shannon 方法,乔木层马尾松和细齿叶桉的生态位宽度均最大(B_L 分别为 22.0 和 20.07, B_S 分别为 3.15 和 3.10);灌木层生态位宽度最大为冬青($B_L=21.59, B_S=3.13$),其次为杨桐和刨花润楠(B_L 分别为 19.46 和 19.8, B_S 均为 3.07),细齿叶桉的生态位宽度排在第 4 位($B_L=18.20, B_S=3.04$);草本层生态位宽度较大为狗脊蕨和草珊瑚(B_L 分别为 20.69 和 20.58, B_S 均为 3.07),其次为菝葜和芒萁(B_L 分别为 19.47 和 16.57, B_S 分别为 3.03 和 2.94).

表 1 细齿叶桉群落植物优势种重要值及生态位宽度

Table 1 Important values and niche breadths of dominant plant species in *Eurya nitida* community

编号	物种名	拉丁学名	重要值	生态位宽度	
				Levins 指数 B_L	Shannon 指数 B_S
乔木层					
1	细齿叶桉	<i>Eurya nitida</i>	49.95	20.07	3.10
2	马尾松	<i>Pinus massoniana</i>	47.61	22.0	3.15
3	刨花润楠	<i>Machilus pauhoi</i>	38.41	14.90	2.83
4	密花树	<i>Rapanea nerifolia</i>	29.08	11.95	2.73

续表 1
Table 1 Continued

编号	物种名	拉丁学名	重要值	生态位宽度	
				Levins 指数 B_L	Shannon 指数 B_S
乔木层					
5	杜鹃	<i>Rhododendron simsii</i>	24.48	6.12	2.17
6	杨桐	<i>Adinandra millettii</i>	22.98	6.96	2.31
7	青冈	<i>Cyclobalanopsis glauca</i>	21.46	9.06	2.44
8	红楠	<i>Machilus thunbergii</i>	20.21	7.60	2.24
9	山矾	<i>Symplocos sumuntia</i>	17.40	3.50	1.63
10	三花冬青	<i>Ilex triflora</i>	16.86	9.48	2.34
11	鸭公树	<i>Neolitsea chunii</i>	15.79	5.48	1.96
12	栲树	<i>Castanopsis fargesii</i>	14.79	5.26	1.97
13	杜英	<i>Elaeocarpus decipiens</i>	13.82	7.11	2.13
14	杨梅	<i>Myrica rubra</i>	11.46	6.26	1.93
15	赤楠	<i>Syzygium buxifolium</i>	11.13	4.32	1.72
16	海金子	<i>Pittosporum illicioides</i>	11.08	5.42	1.79
17	野漆树	<i>Toxicodendron succedaneum</i>	9.48	6.23	1.89
18	木荷	<i>Schima superba</i>	8.45	4.57	1.67
19	茜树	<i>Aidia cochinchinensis</i>	8.19	4.50	1.63
20	罗浮柿	<i>Diospyros morrisiana</i>	7.42	2.94	1.25
灌木层					
1	细齿叶柃	<i>Eurya nitida</i>	60.99	18.20	3.04
2	杨桐	<i>Adinandra millettii</i>	59.28	19.80	3.07
3	刨花润楠	<i>Machilus pauhoi</i>	52.30	19.46	3.07
4	冬青	<i>Ilex chinensis</i>	51.95	21.59	3.13
5	杜鹃	<i>Rhododendron simsii</i>	50.65	17.62	3.00
6	密花树	<i>Rapanea nerifolia</i>	49.11	18.23	3.01
7	山矾	<i>Symplocos sumuntia</i>	47.31	15.79	2.85
8	栲树	<i>Castanopsis fargesii</i>	44.62	15.06	2.89
9	老鼠矢	<i>Symplocos stellaris</i>	38.72	13.94	2.75
10	鹿角锥	<i>Castanopsis lamontii</i>	34.74	12.49	2.62
11	榿木	<i>Loropetalum chinense</i>	33.00	11.16	2.57
12	狗骨柴	<i>Diplospora dubia</i>	32.59	13.55	2.68
13	柳叶栎	<i>Quercus phellos</i>	30.24	11.28	2.59
14	沉水樟	<i>Cinnamomum micranthum</i>	29.24	6.84	2.16
15	新木姜子	<i>Neolitsea aurata</i>	28.53	2.96	1.76
16	黄心树	<i>Machilus gamblei</i>	27.57	10.38	2.44
17	枫香	<i>Liquidambar formosana</i>	26.85	10.09	2.41
18	青冈	<i>Cyclobalanopsis glauca</i>	26.44	10.18	2.4
19	多花山竹子	<i>Garcinia multiflora</i>	24.58	7.43	2.25
20	红楠	<i>Machilus thunbergii</i>	20.85	7.04	2.08
草本层					
1	芒萁	<i>Dicranopteris dichotoma</i>	83.93	16.57	2.94
2	狗脊蕨	<i>Woodwardia japonica</i>	51.56	20.69	3.07
3	草珊瑚	<i>Sarcandra glabra</i>	48.22	20.58	3.07
4	菝葜	<i>Smilax china</i>	44.80	19.47	3.03
5	扇叶铁线蕨	<i>Adiantum flabellulatum</i>	28.98	9.35	2.44
6	石松	<i>Lycopodium japonicum</i>	26.89	6.63	2.11
7	马甲菝葜	<i>Smilax lanceifolia</i>	24.8	6.28	2.14
8	鸡屎藤	<i>Paederia foetida</i>	16.19	7.23	2.03
9	麦冬	<i>Ophiopogon japonicus</i>	14.93	5.01	1.72
10	地榆	<i>Melastoma dodecandrum</i>	14.80	4.83	1.72

3.2 优势树种生态位宽度与生态位重叠

由图 1(a) 可见,乔木层 20 个优势种组成的 190 个种对生态位重叠指数(O_{ik})均值为 0.30,其中 101 个种对的 O_{ik} 介于 0~0.3,占 53.16%;生态位高度重叠(>0.8)的种对有 13 个,占 6.84%;中度重叠(0.5~0.8)

的种对有 30 个,占 15.79%;未产生重叠的有 8 对,占 4.21%。细齿叶柃与乔木层优势种的平均重叠值为 0.47,与马尾松、青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、鸭公树(*Neolitsea chunii*)、赤楠(*Syzygium buxifolium*)、野漆树(*Toxicodendron succedaneum*)、茜树(*Aidia cochinchinensis*)、罗浮柿(*Diospyros morrisiana*)等重叠值均高于 0.6,其中与茜树、罗浮柿的重叠值高于 0.9,罗浮柿与 5 个树种的重叠值在 0.9 以上,最大重叠发生在罗浮柿与密花树($O_{ik}=1.226$)。

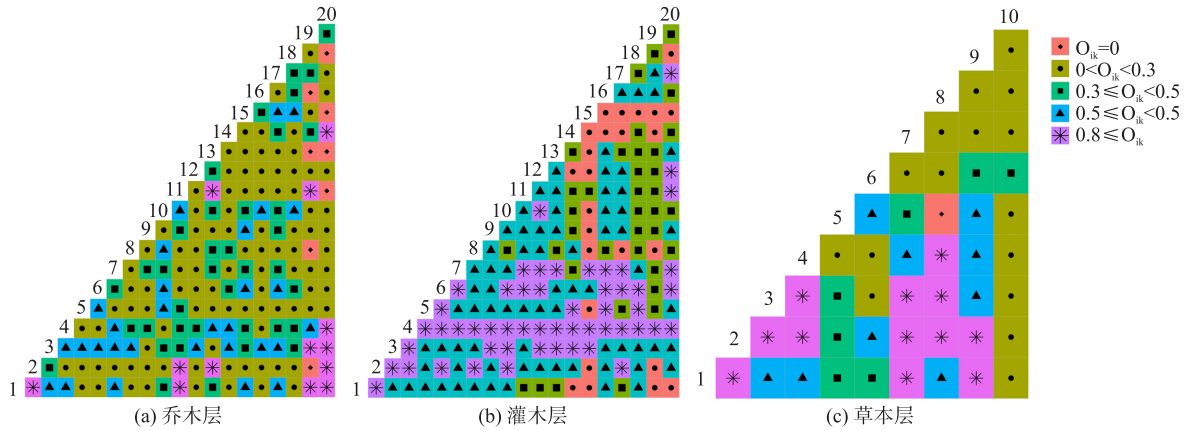


图 1 细齿叶柃群落植物优势种生态位重叠

Fig. 1 Niche overlap of dominant plant species in *Eurya nitida* community

注:物种编号同表 1,下同。

由图 1(b)可见,灌木层 20 个优势种组成的 190 个种对生态位重叠指数(O_{ik})均值为 0.59,其中生态位高度重叠(>0.8)的种对有 53 个,占 27.89%;中度重叠($0.5\sim 0.8$)的种对有 75 个,占 39.47%;低度重叠($0\sim 0.5$)的种对有 62 个,占 32.63%。细齿叶柃与灌木层优势种的平均重叠值为 0.51,与多数树种为中度重叠,仅与杨桐高度重叠(0.962),灌木层重要值较高的树种与其他优势种的重叠值普遍较高,其中冬青与 18 个优势种均为高度重叠,刨花润楠、密花树和山矾(*Symplocos sumuntia*)与多个优势树种也为高度重叠,最大重叠发生在刨花润楠与沉水樟(*Cinnamomum micranthum*)($O_{ik}=1.25$)。

由图 1(c)可见,草本层 10 个优势种组成的 45 个种对生态位重叠指数(O_{ik})均值为 0.45,其中生态位高度重叠(>0.8)的种对有 12 个,占 26.67%;中度重叠($0.5\sim 0.8$)的种对有 9 个,占 20.00%;低度重叠($0\sim 0.5$)的种对有 23 个,占 51.11%;未产生重叠的有 1 对。重要值较高的芒萁、狗脊蕨、草珊瑚、菝葜与其他优势种的重叠值也较高,最大重叠发生在菝葜与鸡屎藤(*Paederia foetida*)($O_{ik}=1.092$)。

3.3 群落总体联结性与优势种种间相关性

由表 2 可见,细齿叶柃群落乔木层和灌木层的方差比率分别为 2.078 和 4.408,均大于 1,其检验统计量分别为 51.951 和 110.198,根据自由度查 χ^2 表,发现 2 个 W 值均大于 χ^2 临界值,说明乔木层和灌木层整体均呈显著正联结。草本层 VR 为 0.633,小于 1,检验统计量(W)为 15.837,落入 χ^2 临界值中,说明草本层整体呈不显著负联结。

表 2 细齿叶柃群落整体联结性

Table 2 Overall association of *Eurya nitida* community

层次	方差比率(VR)	检验统计量(W)	χ^2 临界值(0.05)	χ^2 临界值(0.95)	检验结果
乔木层	2.078	51.951	36.415	13.848	显著正联结
灌木层	4.408	110.198	36.415	13.848	显著正联结
草本层	0.633	15.837	36.415	13.848	不显著负联结

由图 2 可见, Pearson 相关检验结果显示乔木层呈显著相关的种对有 12 对,占 6.32%,其中显著正相关 10 对,显著负相关 2 对(图 2(a));灌木层呈显著相关的种对有 43 对,占 22.63%,其中显著正相关 38 对,显著负相关 5 对(图 2(b));草本层呈显著相关的种对有 6 对,占 13.33%,其中显著正相关 4 对,显著负相关 2 对(图 2(c))。Spearman 秩相关检验结果显示乔木层呈显著相关的种对有 15 对,占 7.89%,其中显著正相关 10 对,显著负相关 5 对(图 2(d));灌木层呈显著相关的种对有 57 对,占 30.00%,其中显著正相关 49 对,显著负相关 8 对(图 2(e));草本层呈显著相关的种对有 10 对,占 22.22%,其中显著正相关

4 对,显著负相关 6 对(图 2(f)).

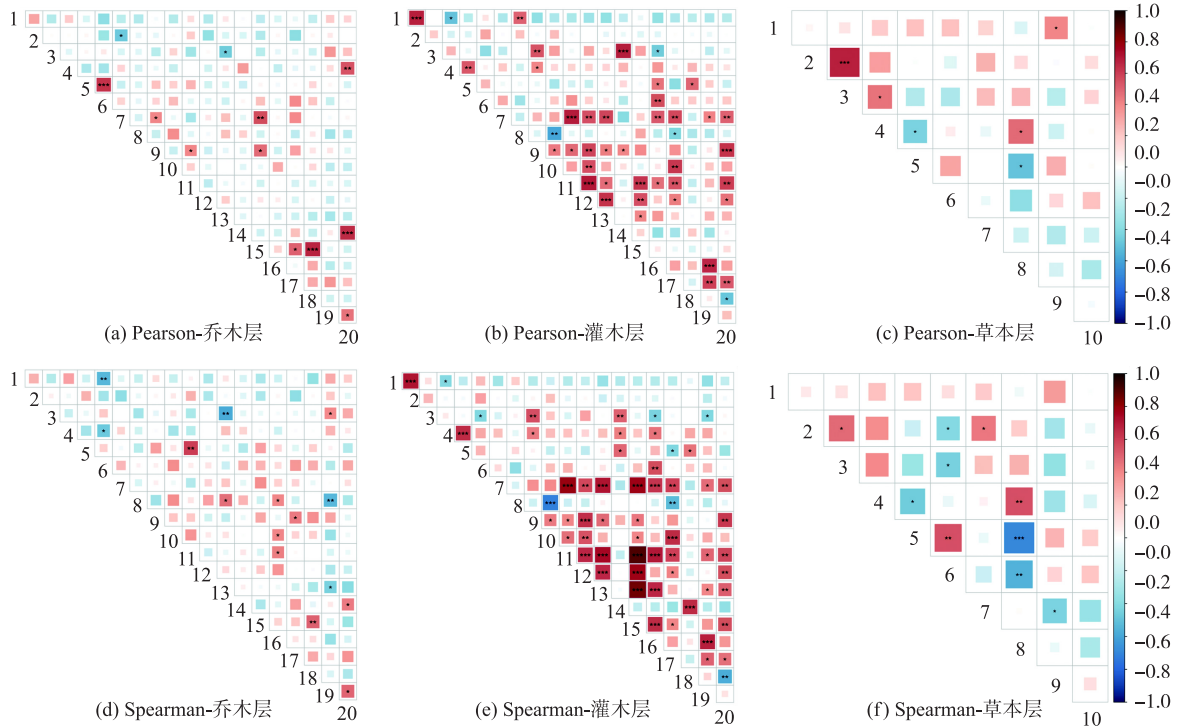


图 2 细齿叶柃群落植物优势种间相关性

Fig. 2 Interspecific correlation of dominant plant species in *Eurya nitida* community

注: * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$, *** 表示 $P < 0.001$. 特种编号同表 1.

3.4 生态种组划分

基于生态位重叠值对不同层物种进行层次聚类,依据聚类结果进行生态种组划分.由图 3 可见,乔木层 20 个优势树种可以划分为 3 个生态组:第一组为杜鹃、青冈、海金子、鸭公树、罗浮柿、红楠、野漆树;第二组为杨梅、赤楠、三花冬青、马尾松、茜树;第三组为刨花润楠、杜英、木荷、密花树、杨桐、细齿叶柃、山矾、栲树.灌木层 20 个优势树种可以划分为 4 个生态组:第一组为刨花润楠和黄心树;第二组为青冈、红楠、鹿角锥、新木姜子;第三组为狗骨柴、榿木、细齿叶柃、沉水樟、多花山竹子、老鼠矢、柳叶栎、栲树、枫香;第四组为冬青、密花树、杨桐、杜鹃、山矾.草本层可以划分为 2 个生态组:第一组为菝葜、地稔、马甲菝葜、麦冬;第二组为草珊瑚、石松、狗脊蕨、芒萁、扇叶铁线蕨、鸡屎藤.

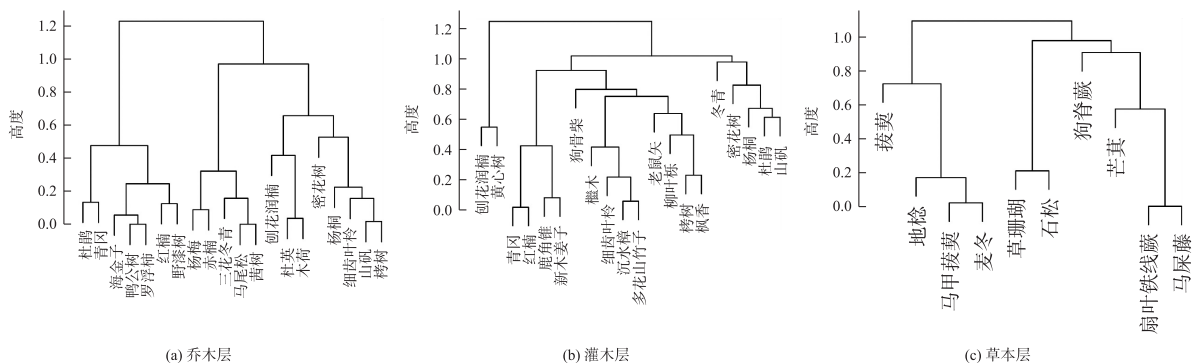


图 3 细齿叶柃群落不同层次植物生态种组划分

Fig. 3 Classification of ecological species groups of plants in different layers of *Eurya nitida* community

4 讨论

4.1 细齿叶柃群落不同林层物种组成与优势种特征

本研究发发现细齿叶柃天然群落植物种类丰富,涵盖 78 种,分属 30 科 52 属,可见闽南山地典型的中亚

热带季风气候,温和的气候与充沛的雨量为细齿叶柃群落营造了适宜的生存环境.从群落层次来看,乔木层中山茶科、樟科植物分布广泛,细齿叶柃、马尾松等重要值较高,在群落的结构构建和生态功能发挥中起关键作用,马尾松作为速生树种适应性强,其树冠为其他生物提供栖息空间,细齿叶柃作为蜜源植物对维持生态系统生物多样性和生态平衡意义重大;灌木层中樟科、杜鹃花科常见,部分植物与乔木层重合,这种垂直结构的物种分布充分利用不同层次资源,减少物种间竞争;草本层以芒萁、狗脊蕨等为主,在保持水土、调节土壤微环境方面发挥重要作用.各层次优势种生态位宽度差异明显,生态位宽度大的物种如马尾松和细齿叶柃,能利用多种资源,竞争力强、分布广泛,生态位宽度小的物种可能对特定资源有特殊需求,生态适应性相对较窄,这种生态位分化有助于维持群落物种多样性,使不同物种在有限资源条件下共存.

4.2 优势种间资源分配与共存策略

生态位重叠指数直观反映物种间资源利用的相似程度,在共享资源的同时存在竞争或彼此促进的关系^[24].本研究中,细齿叶柃群落不同层次呈现出各异的生态位重叠特征.乔木层生态位重叠指数均值为0.30,低于福建武夷山常绿阔叶林(0.42)^[22],表明本群落乔木物种间资源分化更为显著,其中细齿叶柃与茜树、罗浮柿等树种重叠值较高,在资源利用上相似,可能存在竞争关系,但也可能存在协同适应机制,通过不同季节或生长阶段对相同资源采取不同利用方式来避免过度竞争,其高重叠(>0.9)可能源于对林冠空隙的共同偏好,也可能通过时间生态位分离(如花期错峰)减少竞争,从而促进物种共存^[25].灌木层生态位重叠指数均值为0.59,表明物种间资源竞争更为激烈,同时也可能存在更紧密的生态联系,细齿叶柃与杨桐高度重叠,重要值较高的树种与其他优势种重叠普遍较高,这些物种可能通过共生或协作方式共同应对资源竞争,如通过根系分泌物相互作用改善土壤微环境来提高资源利用效率,该层高重叠值与亚热带次生林灌木层普遍存在的“光资源争夺”现象相符^[26],且细齿叶柃与杨桐的重叠值(0.962)远高于浙江地区的同类研究(0.68)^[27],可能是因为二者更适应闽南地区温暖湿润的气候环境.草本层生态位重叠指数均值为0.45,重要值高的物种重叠值也高,由于草本植物生长周期短、对环境变化敏感,其生态位重叠模式反映了短期内对光、水、养分等资源的竞争与共享关系,芒萁、狗脊蕨等优势草本在资源获取上可能存在竞争,但它们不同的生长习性和形态结构使其能够在时间和空间上合理分配资源,维持群落的稳定性.本研究通过对细齿叶柃群落不同层次生态位重叠指数的分析,揭示了物种间复杂的资源利用关系和生态适应策略,为深入理解群落的生态结构和动态变化提供了重要依据.

4.3 群落总体联结性与种间相关性

群落总体联结性和优势种种间相关性分析清晰揭示了细齿叶柃群落中物种间复杂的相互关系.在群落联结性方面,乔木层和灌木层呈显著正联结($VR > 1$),与亚热带成熟常绿阔叶林的研究结论一致^[28],表明多数物种倾向于共同出现,存在互利共生或依赖关系,乔木为灌木提供遮荫和支撑,灌木则通过根系固氮等改善土壤肥力促进乔木生长,增强了群落稳定性.而草本层呈不显著负联结($VR = 0.633$),可能是芒萁的强竞争优势抑制了其他草本物种共存,草本植物个体小、生态位窄,资源竞争突出,但也存在化感作用等相互影响.优势种种间相关性分析显示,不同层次显著相关种对比例和正负相关性不同,乔木层少数种对显著相关反映其生态功能相对独立;灌木层较高比例显著相关(22.63%)体现紧密生态联系,说明灌木物种在资源利用上存在协同适应;草本层显著相关种对比例介于两者之间,且正负相关性复杂,反映生态关系的多样性,这些都与物种生态习性、分布范围及环境因素密切相关.

4.4 生态种组划分的生态意义

本研究将乔木层划分为3个生态组,灌木层划分为4个生态组,草本层划分为2个生态组.这种划分对人工群落构建具有重要理论指导价值.乔木层第一生态组中的杜鹃、青冈等物种,可能对光照、土壤肥力等环境条件有相似的要求,它们在群落中的分布和生长可能相互影响.这种划分可以为生态保护和修复提供针对性策略,优先保护生态组中的关键物种,能够有效维护整个生态组的稳定性,进而促进群落的健康发展.同时,生态种组的划分也为研究群落演替提供了重要线索.不同生态种组在群落演替过程中可能扮演不同角色,通过跟踪生态种组的变化,可以更好地预测群落的发展方向,为合理规划和管理生态系统提供科学依据.

5 结论

闽南山地细齿叶柃天然群落物种丰富,78种植物分属30科52属,各层次优势种差异明显.乔木层中

细齿叶柃重要值最高(49.95),其次为马尾松(47.61);灌木层细齿叶柃最高为60.99,其次为杨桐59.28;草本层芒萁高达83.93.优势种生态位宽度在不同层次有显著差异,乔木层马尾松和细齿叶柃最大,灌木层冬青最大,草本层狗脊蕨和草珊瑚较大.生态位重叠指数显示各层次物种资源利用关系复杂,乔木层均值0.30,细齿叶柃与部分树种重叠值高;灌木层均值0.59,其余杨桐达0.962;草本层均值0.45,菝葜与鸡屎藤最大为1.092.群落总体联结性上,乔木层和灌木层呈显著正联结,草本层呈不显著负联结,优势种种间相关性因层次而异.通过聚类将乔木层划分为3个生态组,灌木层划分为4个生态组,草本层划分为2个生态组,为群落结构解析提供了清晰框架.本研究明确了细齿叶柃群落各层次核心物种及生态关系,为其保护管理、人工群落构建中物种配置及资源调控提供了科学依据,未来可深入探究高重叠物种互作机制、群落长期演替动态及气候变化下的响应趋势.本研究证实的亚热带森林生态位分化与种间协同适应维持多样性的核心机制,为同类珍稀植物群落的保护修复提供了生态学范式.

[参考文献]

- [1] 林盛秋. 蜜源植物[M]. 北京:中国林业出版社,1989.
- [2] 任再金. 贵州省柃属蜜源植物介绍[J]. 养蜂科技,1996(6):22-25.
- [3] SOO Y P, HONG C Y, JI Y M, et al. Induction of the apoptosis of HL-60 promyelocytic leukemia cells by *Eurya emarginata* [J]. *Cancer letters*, 2004, 205(1):31-38.
- [4] SOO Y P, HONG C Y, JI Y M, et al. The cytotoxicity of eutigoides from *Eurya emarginata* against HL-60 promyelocytic leukemia cells[J]. *Archives of pharmacal research*, 2005, 28(9):1047-1052.
- [5] 潘健,季东明,汤庚国. 我国柃属植物资源及开发前景的展望[J]. 中国野生植物资源,2006(2):36-38.
- [6] 潘健,汤庚国. 华东地区柃属植物资源[J]. 资源开发与市场,2008,24(5):462-464.
- [7] 申国柱,王跃华. 我国柃属植物的分布与开发利用[J]. 北方园艺,2007(8):135-136.
- [8] 张宏达. 中国柃属植物志[J]. 植物分类学报,1954,3(1):1-59.
- [9] 郭家新. 福建茫荡山自然保护区蜜源植物资源及保护利用初探[J]. 山东林业科技,2015,45(6):53-59.
- [10] 马建梅,梁勤,刘金福,等. 戴云山柃属蜜源植物空间分布及其环境因子研究[J]. 中国蜂业,2013,64(Z4):26-30.
- [11] 王焱,包志毅. 我国柃属植物种质资源及其园林应用前景[J]. 林业科学,2007(8):118-122.
- [12] 石祥刚,黎运钦,李成仁,等. 柃属植物叶宏观结构及其分类学意义[J]. 植物研究,2009,29(5):517-523.
- [13] 石祥刚,李成仁,李凯凯,等. 应用 HPLC 色谱技术进行柃属植物化学分类学研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2014, 53(2):101-107.
- [14] 石祥刚,李凯凯,宋晓虹,等. 柃属植物种子微形态特征及其系统学意义[J]. 植物科学学报,2012,30(2):107-115.
- [15] 潘健. 柃属植物资源及繁殖技术的研究[D]. 南京:南京林业大学,2004.
- [16] 潘健,程家寿,汤庚国,等. 细齿叶柃繁殖技术的试验分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2005(6):123-125.
- [17] 张椿芳. 三种柃木属植物组织培养技术研究[D]. 南京:南京林业大学,2007.
- [18] 巴罗菊. 细枝柃(*Eurya loquaiana* Dunn)花器官发生及激素动态变化研究[D]. 重庆:西南大学,2017.
- [19] 范玲玲. 四种柃属植物(*Eurya*)的耐盐性研究[D]. 南京:南京林业大学,2008.
- [20] 刘剑秋,黄芯婷,方玉霖. 福建柃属植物(山茶科)叶表皮特征的比较研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),2005(2):80-85.
- [21] 高伟,黄茂根,黄石德,等. 濒危树种闽桦天然林优势种群生态位特征[J]. 植物科学学报,2023,41(5):613-625.
- [22] 黄石德,聂森,肖祥希,等. 武夷山米槠群落优势种群生态位与种间联结[J]. 植物科学学报,2023,41(3):291-300.
- [23] DOLPH S. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. *Ecology*, 1984, 65(3):998-1005.
- [24] 商乃演,李东海,杨小波,等. 濒危植物蝴蝶树所在群落不同林层优势树种生态位与种间联结[J]. 生态学报,2025,45(7):1-12.
- [25] 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.
- [26] 曹嘉瑜,刘建峰,袁泉,等. 森林与灌丛的灌木性状揭示不同的生活策略[J]. 植物生态学报,2020,44(7):715-729.
- [27] 杨永川,达良俊,宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林主要组成种的种群结构及更新类型[J]. 植物生态学报, 2004(3):376-384.
- [28] 高伟,黄雍容,林建丽,等. 濒危树种闽桦天然林优势种群间相关性[J]. 林业科学,2021,57(10):1-14.

[责任编辑:黄敏]