



浙江九龙山香果树群落木本优势种的生态位特征

张亚芬¹,陈英²,王宇³,陈旭波²,骆争荣²,郑子洪³

(1.浙江旅游职业学院旅行服务与管理学院,杭州311231;2.丽水学院生态学院,浙江丽水323000;

3.浙江九龙山国家级自然保护区管理中心,浙江遂昌323300)

摘要:为揭示珍稀植物香果树(*Emmenopterys henryi*)与群落主要伴生树种的种间关系及其生态位分化特征,在浙江九龙山分布的香果树群落中设置了35个半径为15.0 m的样圆,对胸径2.5 cm以上的木本植物开展每木调查,分析了香果树和其他优势树种的生态位宽度、重叠度以及种间相关性,并在典范对应分析的基础上计算了香果树与其他优势树种在排序空间中的距离。结果表明:香果树具有最大的生态位宽度(0.93),能较好地适应九龙山现有分布地的生境,在资源占据上处于优势地位,其他优势树种的生态位宽度也较大,Shannon-Wiener生态位宽度指数均大于0.50;香果树与其他优势树种的生态位重叠度在0.33~0.50之间,整体上较为适中;典范对应分析排序结果显示,香果树分布在其他优势树种分布区的外围,香果树与其他优势树种存在一定的生态位分化,整体上减小了竞争;香果树与群落主要优势种杉木 *Cunninghamia lanceolata* 和毛脉槭 *Acer pubinerve* 存在显著负相关。该研究深化了人们对香果树群落优势种生态位特征的认识,为香果树自然种群的保护提供现实指导,并为九龙山天然林香果树种群的就地抚育提供依据。

关键词:珍稀濒危植物;香果树;生态位分化;种间相关;生态因子;典范对应分析

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2026)03-0190-08

引文格式:张亚芬,陈英,王宇,等.浙江九龙山香果树群落木本优势种的生态位特征[J].浙江理工大学学报(自然科学),2026,55(2):190-197.

Reference Format: ZHANG Yafen, CHEN Ying, WANG Yu, et al. Niche characteristics of the dominant woody species in *Emmenopterys henryi* communities in Jiulong Mountain, Zhejiang[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2026, 55(2): 190-197.

Niche characteristics of the dominant woody species in *Emmenopterys henryi* communities in Jiulong Mountain, Zhejiang

ZHANG Yafen¹, CHEN Ying², WANG Yu³, CHEN Xubo², LUO Zhengrong², ZHENG Zihong³

(1. School of Tourism Services and Management, Tourism College of Zhejiang, Hangzhou 311231, China;

2. College of Ecology, Lishui University, Lishui 323000, China; 3. Administration Center of

Jiulong Mountain National Nature Reserve, Suichang 323300, China)

Abstract: To reveal the interspecific relationship and ecological niche differentiation of the rare plant *Emmenopterys henryi* and other dominant tree species in the community, this study set up 35 round sampling plots with a radius of 15 meters within the *E. henryi* communities in Jiulong Mountain, Zhejiang Province. A comprehensive survey was conducted on woody plants with a diameter at breast height greater than 2.5 cm in the communities. The niche width, niche overlap, and interspecific correlation of the dominant tree species (including *E. henryi*) were analyzed. Additionally, canonical correspondence analysis (CCA) was employed to assess the ecological space distance between *E. henryi* and other

收稿日期: 2025-07-06 网络出版日期: 2025-10-09

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY20C030002); 遂昌县科技局县校合作项目(SCX2024HZ14); 浙江旅游职业学院校重点项目(2023XJZD03)

作者简介: 张亚芬(1980—),女,湖北仙桃人,副教授,硕士,主要从事生态学方面的研究。

通信作者: 郑子洪, E-mail: zzh19680803@163.com

dominant woody species. The results showed that *E. henryi* had the largest ecological niche width (0.93), which suggested *E. henryi* had strong adaptability to the current habitat in Jiulong Mountain, and occupied an advantage in resource utilization; the ecological niche widths of other dominant tree species were also large, with Shannon-Wiener niche width indices all exceeding 0.50. The niche overlap between *E. henryi* and other dominant tree species ranged from 0.33 to 0.50, which was at a moderate level. The results of CCA indicated that *E. henryi* was located on the periphery position relative to other dominant species in ecological space, suggesting niche differentiation between *E. henryi* and other dominant species that minimizes competitive exclusion. In addition, *E. henryi* showed a significant negative correlation with the two dominant species (i. e. *Cunninghamia lanceolata* and *Acer pubinerve*) in the community. This study not only deepens the understanding of the niche characteristics of the dominant species in the *E. henryi* community, but also provides scientific basis and practical guidance for the in-situ conservation of the natural population of *E. henryi*.

Key words: rare species; *Emmenopterys henryi*; niche differentiation; species association; ecological factor; canonical correspondence analysis

0 引言

香果树 (*Emmenopterys henryi*) 为茜草科 (Rubiaceae) 香果树属 (*Emmenopterys*) 落叶大乔木, 是中国特有的第四纪冰川孑遗植物^[1], 该物种在野外天然更新能力差, 在各地呈零星分布, 其生存受到一定的威胁, 目前已被列为国家 II 级重点保护野生植物^[2]。香果树多见于亚热带中山或低山地区, 主要生长在海拔 430~1630 m、岩石裸露度高、土层浅薄的山涧落叶阔叶林或常绿与落叶阔叶混交林中^[3-5]。在天然林中, 不同地区的香果树群落的物种多样性有高低, 但在野外极少见到香果树纯林, 大多数香果树居群与其他树种形成混交林, 因而不可避免地与其他树种产生互作, 影响其更新、生长和繁殖。目前直接针对群落中的优势种如何与香果树互作的研究十分匮乏^[1]。

生态位特征结合种间关联分析, 是深入了解珍稀植物在群落中的地位, 其与其他物种的种间关系, 以及揭示格局背后的生态学机制的重要手段^[6-8]。在自然群落中, 珍稀濒危植物往往在竞争中处于弱势地位, 在珍稀植物进化过程中容易出现生态位严重特化的现象^[9]。近年来, 学界针对珍稀濒危植物群落的生态位特征和种间关系开展了很多有价值的研究, 但目前香果树群落生态位特征和种间关系仅在浙江大盘山有报道^[6-8, 10-14]。康华靖等^[6]发现, 在浙江大盘山的香果树种内竞争大于种间竞争, 香果树与杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 的生态位重叠最大, 香果树与乔木树种的竞争较大, 与灌木树种的竞争较小, 但该研究仍存在一些不足: 一方面没有充分采集生境数据来探讨香果树群落的生态位特

征, 另一方面样本量较少 (仅 5 个 20 m×20 m 的样地)。前人的调查研究发现, 不同地区和演替阶段的香果树群落的优势种存在较大差异^[4, 15-16]; 而本课题组通过空间分布格局推测, 九龙山香果树与群落中其他树种的种间关系可能比前人观测到的更为复杂^[17], 浙江大盘山香果树群落的现象在其他香果树分布地是否具有普适性仍需进一步验证。

为深入了解香果树群落优势种的种间关系及其生态位分化特征, 本文以浙江九龙山分布的香果树群落为研究对象, 通过广泛的样地调查, 分析香果树和群落中其他优势树种的生态位特征以及种间相关, 主要探讨以下问题: a) 香果树群落优势树种的生态位宽度如何? b) 相对于群落中的其他优势树种, 香果树是否存在明显的生态位分化? 以及香果树与其他优势树种的生态位重叠度是否小于其他优势树种间的生态位重叠? c) 在九龙山香果树群落中, 香果树与哪些优势树种的生态位重叠度较高? 香果树与哪些优势树种的存在负相关? 科学回答这些问题, 将为就地或迁地保护九龙山天然林中的香果树种群提供依据。

1 研究地区与方法

1.1 研究区域概况

浙江九龙山国家级自然保护区位于浙、闽、赣交界处 (28°19'10"~28°24'43"N, 118°49'38"~118°55'03"E), 所在区域为武夷山系仙霞岭山脉的一部分^[18]。该地区的气候属中亚热带湿润季风气候, 四季分明, 雨量充足, 光照适宜; 同时, 区内小气候因坡向和海拔而有所差异^[15, 19]。根据遂昌气象站监测, 九龙山区 2015—2024 年的年均温约为 16.2 °C, 年

降雨量 1865.4 mm,相对湿度 83.0%,最冷月 1 月均温 5.8℃,最热月 7 月均温 25.8℃。九龙山区土壤属于富铝土纲,包括老红壤、红壤、黄红壤和红黄壤等亚类,具有有机质、全氮及钾素丰富的特点;随海拔的变化,各土壤亚类按序替代^[18]。九龙山区广泛分布着亚热带常绿阔叶林,同时也分布着不少常绿落叶阔叶混交林和落叶阔叶林,许多古老珍稀树种分布其中^[18]。该区是香果树在浙江的主要集中分布地之一,区内香果树主要生长于受溪流冲击的山涧沟壑中,常沿山谷带状分布或不规则式零星分布,生长环境山石裸露,一般土层较浅薄。

1.2 样地设置与群落调查

于 2021 年 7—8 月在九龙山自然保护区内的岩背坑、内阴坑、陈坑、源大坑、大岩前、内北坪等 6 处香果树分布地,共设置 35 个样圆进行调查。每个样

圆都是以 1 棵香果树为圆心,半径为 15.0 m 的圆。利用手机“两步路”App 测量每个样地的海拔和地理坐标,利用便携式罗盘仪测量样地所在山坡的坡向。给样地内每棵胸径(Diameter at breast height, DBH;离地 1.3 m 高处树干的直径)2.5 cm 以上的乔木和灌木挂牌,测量这些树的胸径,利用激光测距仪测量其与中心香果树的水平距离,并鉴定物种。

受调查的香果树群落样地共有木本维管束植物 50 科 96 属 145 种,其中:常绿树种 56 种,重要值之和为 40.75%;落叶或半常绿树种 89 种,重要值之和为 59.25%;乔木 67 种,重要值之和为 65.07%;灌木或小乔木 78 种,重要值之和为 34.93%^[15]。所有调查样地的海拔范围为 965.0~1447.0 m,坡向以北至东北方向为主,样地的海拔和坡向分布概况见图 1。

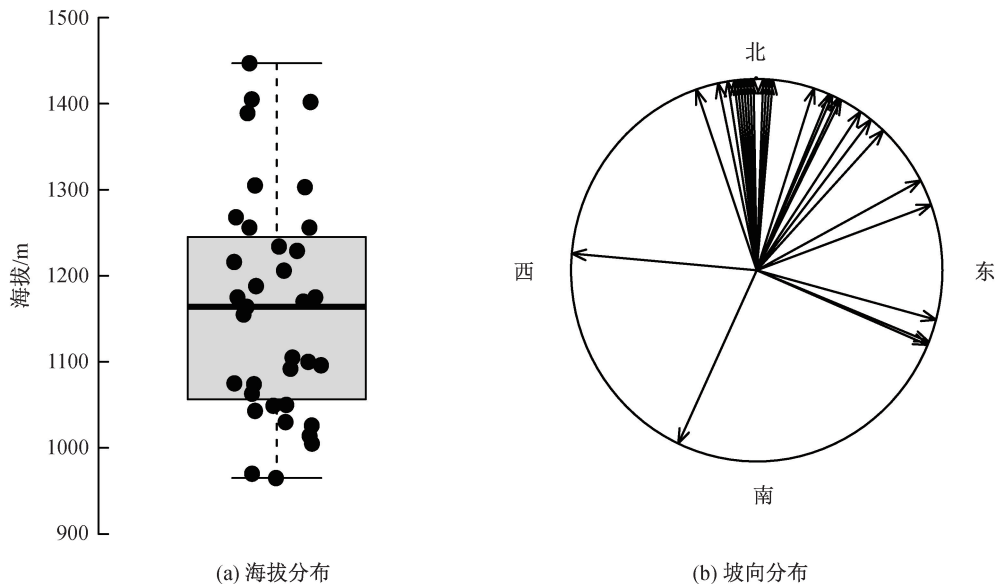


图 1 调查样地的海拔和坡向分布概况

注:图中实心圆点表示各样地对应的海拔,箭头表示各样地对应的坡向。

1.3 土壤样品采集与测试

在每个样地采集 5 个 0~15 cm 深的表层土壤样品,混合后去除动植物残体和较大的石块,将采集到的土壤样品放入提前标记好的无菌采样袋内,置于冰盒内带回实验室,进行土壤养分和微生物种类测定。

土壤养分指标主要包括有机质、总氮、总磷、总钾、缓效钾、速效钾、有效磷、碱解氮含量和 pH 值。采用高通量测序法测定土壤细菌(通用引物 338F 和 506R)和真菌(通用引物 ITS1F 和 ITS2R)的种类和丰度,土壤养分和微生物多样性测定方法见参考文献^[19]。

1.4 数据分析方法

样地物种数量较多,且有许多物种的个体数量和总生物量都极低。本文根据群落特征分析结果^[15],重点分析包含香果树在内的 12 个优势树种(见表 1)的生态位特征和种间关系。

生态位宽度计测采用 Levins 提出的 Shannon-Wiener 指数^[20]:

$$B_i = -\frac{1}{\ln r} \sum_{k=1}^r P_{ik} \ln P_{ik} \quad (1)$$

其中: B_i 表示树种 i 的生态位宽度; $P_{ik} = ab_{ik} / \sum_{k=1}^r ab_{ik}$,表示树种 i 对第 k 个综合资源位(即以 15 m 为半径的样圆)的利用占其对全部资源

利用的比例; ab_{ik} 是第 i 个物种利用综合资源位 k 的综合多度; r 为综合资源位总数, 即样圆数。该指数的值域为 $[0, 1]$, 数值越大表示生态位越宽。

树种 i 在综合资源位 k 的综合多度 ab_{ik} 按式 (2) 计算:

$$ab_{ik} = \frac{n_{ik}}{\bar{n}} + \frac{BA_{ik}}{\overline{BA}} \quad (2)$$

其中: n_{ik} 表示树种 i 在样地 k 中的多度; \bar{n} 表示各物种在各样地多度的平均值 (即 n_{ik} 的均值); BA_{ik} 表示树种 i 在样地 k 中的胸高断面面积; \overline{BA} 表示各物种在各样地胸高断面面积的平均值 (即 BA_{ik} 的均值)。综合多度参数整合了树木的株数和大小信息, 能更好地反映树种在综合资源位上的资源占有度。为了消除多度和胸高断面面积不同量纲的影响, 本文对原始数据进行了标准化处理, 即原始数据除以各物种在各样地的多度或胸高断面面积均值。

生态位重叠是指群落中的 2 个或多个种群之间, 在利用资源和适应环境的潜在能力方面所表现出的共同性或相似性^[20-21]。本文选用对称 α 法计算香果树群落优势树种之间的生态位重叠^[22-23]:

$$O_{ij} = \sum_{k=1}^r P_{ik} P_{jk} / \sqrt{(\sum_{k=1}^r P_{ik})^2 (\sum_{k=1}^r P_{jk})^2} \quad (3)$$

其中: O_{ij} 为树种 i 和树种 j 的重叠指数; P_{ik} 和 P_{jk} 分别为树种 i 和树种 j 在综合资源位 k 上的利用比例, 计算时用树种 i 和树种 j 的综合多度占综合资源位 k 的植物总综合多度的比例来表示。该指数的值域也是 $[0, 1]$, 数值越大表示生态位重叠度越高, 便于对不同种群的生态位重叠进行客观比较^[22]。本文使用 bootstrap 法检验各种对的生态位重叠是否显著。为了检验种间生态位重叠是否与所涉物种生态位宽度有关, 本文使用 Mantel 检验验证生态位重叠指数与所涉物种生态位宽度之和的相关性。

上述生态位宽度和生态位重叠计测公式虽然都有明确的几何学解释和生物意义, 并且充分考虑了物种在不同综合资源位上的多度和生物量信息, 但均未考虑生境中具体生态要素的差异性^[20, 24]。典范对应分析 (Canonical correspondence analysis, CCA) 能将物种间的生态关系以及生态因子对此生态关系的影响更直观地呈现出来, 可以弥补上述不足, 有利于理解群落中不同物种的生态位特征^[24]。本文采用的生态因子分为 4 类: 第一类是样地植物和微生物多样性指数, 以及样地树木的总胸高断面

积等群落学因子; 第二类是生境表层土壤中的各类养分含量; 第三类是海拔、坡向等地形因素; 第四类则是反映空间异质性的样地间的空间距离。空间距离因子由邻体矩阵主坐标分析 (Principal coordinate analysis of neighbor matrix, PCNM) 引入, 以最小生成树中的最长距离作为 PCNM 分析的阈值 (确保所有点都能被连接, 本文为 2815 m), 选择显著正空间相关 ($P < 0.05$) 的 PCNM 变量作为空间因子指标^[15]。将各个优势树种在各样地的综合多度作为因变量矩阵, 将上述 4 类生态因子作为解释变量矩阵进行 CCA 排序分析, 排序完成后提取各优势树种在所有 11 个 CCA 排序轴上的得分, 再根据这些得分计算各物种在排序空间中的几何距离。

本文采用种间相关系数来衡量种间相关, 并用 t 检验来检测种间相关的显著程度。种间相关系数可用式 (4) 计算:

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^r (m_{ik} - \bar{m}_i)(m_{jk} - \bar{m}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^r (m_{ik} - \bar{m}_i)^2 (m_{jk} - \bar{m}_j)^2}} \quad (4)$$

其中: ρ_{ij} 代表种 i 和 j 之间的相关系数; r 为样地数, m_{ik} 和 m_{jk} 分别是树种 i 和树种 j 在样地 k 中的综合多度; \bar{m}_i 和 \bar{m}_j 分别是树种 i 和树种 j 在所有样地中综合多度的平均值^[18]。

本文数据分析在 R 语言中进行, 使用 SPAA 软件包计算生态位宽度和生态位重叠, 使用 vegan 软件包进行 PCNM 分析和 CCA 排序, 使用 stats 软件包计算 Pearson 相关系数并进行显著性检验^[25]。

2 结果与分析

2.1 香果树群落优势树种的生态位宽度

针对香果树群落优势物种的生态位宽度计算结果如表 1 所示, 从表中可以看出: 香果树的生态位最宽 (0.93), 说明在香果树分布区中香果树保持最高的资源利用能力, 其他主要伴生树种的生态位宽度普遍较大, Shannon-Wiener 生态位宽度指数均介于 0.52~0.88 之间; 杉木和毛脉槭 (*Acer pubinerve*) 也都展现出较大的生态位宽度, 分别为 0.87 和 0.88; 在这些优势树种中, 生态位宽度最小的是柳杉 (*Cryptomeria fortunei*), Shannon-Wiener 生态位宽度指数为 0.52。

2.2 优势树种间的生态位重叠

以 Pianka 指数计测的生态位重叠度分析显示: 香果树群落优势树种间的生态位重叠度普遍较高, 在 0.50 以上的种对有 17 对, 仅 3 个种对不存在显

著的生态位重叠;香果树与其他主要伴生种的生态位重叠度在 0.33~0.50 之间,和其他伴生树种相互间的生态位重叠度没有显著差异($P > 0.05$),但香果树和伴生树种间的生态位重叠度的变异更小(见

表 1)。Mantel 相关检验表明,优势树种间的 Pianka 生态位重叠度与涉及的 2 个树种 Shannon-Wiener 生态位宽度指数之和呈显著正相关($r = 0.6, P < 0.05$)。

表 1 九龙山香果树群落优势种的生态位宽度、生态位重叠和种间相关系数

物种 编号	生态 位宽度	与对应物种的生态位重叠度(下三角)和种间相关系数(上三角)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.93	—	-0.34	-0.39	(-0.32)	(-0.30)	-0.27	-0.24	-0.13	-0.25	0.28	-0.23	0.24
2	0.87	0.47	—	-0.07	0.05	0.26	0.34	-0.01	0.25	0.01	-0.47	0.12	0.29
3	0.88	0.43	0.52	—	0.73	0.56	-0.20	-0.20	(-0.32)	0.24	0.02	0.41	-0.42
4	0.83	0.43	0.55	0.87	—	0.52	-0.13	-0.11	-0.41	0.23	-0.40	0.59	-0.41
5	0.82	0.41	0.63	0.78	0.75	—	0.02	(-0.32)	-0.15	-0.08	-0.25	0.30	-0.39
6	0.79	0.34	0.62	0.32	0.33	0.40	—	-0.17	0.30	0.01	-0.27	-0.05	0.25
7	0.84	0.44	0.50	0.40	0.42	0.29	0.29	—	0.17	0.25	-0.21	-0.25	-0.05
8	0.78	0.42	0.58	0.27	0.19	0.32	0.54	0.51	—	0.21	0.01	-0.21	0.24
9	0.77	0.33	0.43	0.55	0.54	0.33	0.33	0.54	0.48	—	-0.27	-0.05	-0.04
10	0.62	0.50	0.05	0.33	0.05	0.13	0.05	0.15	0.27	0.05	—	-0.14	-0.16
11	0.84	0.47	0.58	0.71	0.79	0.63	0.38	0.35	0.30	0.37	0.22	—	-0.39
12	0.52	0.45	0.47	0.04	0.02	0.01	0.42	0.24	0.42	0.20	0.04	0.03	—

注:加粗的数字表示与 0 之间有显著差异($P < 0.05$),加()的数字表示与 0 之间的差异较显著($0.05 < P < 0.1$)。物种编号 1 表示香果树 *Emmenopterys henryi*、2 表示杉木 *Cunninghamia lanceolata*、3 表示毛脉槭 *Acer pubinerve*、4 表示川鄂山茱萸 *Cornus chinensis*、5 表示缺萼枫香 *Liquidambar acalycina*、6 表示木荷 *Schima superba*、7 表示浙闽樱 *Cerasus schneideriana*、8 表示格药柃 *Eurya muricata*、9 表示青榨槭 *Acer davidii*、10 表示褐叶青冈 *Cyclobalanopsis stewardiana*、11 表示建润楠 *Machilus oreophila*、12 表示柳杉 *Cryptomeria fortunei*。

2.3 典范对应分析

香果树群落 12 个优势树种的 CCA 分析前 4 轴(约 79.94% 的解释度)的排序结果如图 2 所示,从图 2(a)~(b)中可以看出:在影响香果树群落物种分布的各生境因子中海拔、土壤全钾含量和树木的香农指数等对第一排序轴有重要影响;土壤微生物多样性和坡向等对第二排序轴有重要影响;树木多样性、土壤全氮、有机质含量和空间因子 PCNM1 等对第三排序轴有重要影响;植物多样性、土壤有效磷、缓效钾和空间因子 PCNM2 等对第四排序轴有重要的影响。

从图 2(c)~(d)中可以看出,香果树(前 4 排序轴的分值为 0.46, 0.37, 0.44, -0.44)没有出现在排序图的角落区域,但其和 12 个主要伴生树种的分布中心(前 4 排序轴的均值分别为 0.10, 0.12, 0.03, 0.05)仍保持一定距离,位于优势树种在排序图上分布区域的外围(见图 2),这说明香果树在生态需求上虽没有严重的特化,但在生态相似度上与群落其他优势树种保持了合适的距离。本文计算了优势种在 11 个轴的 CCA 排序空间中的几何距离,结果显示香果树与其他伴生优势树种距离由近到远分别为:建润楠(*Machilus oreophila*, 1.31)、毛脉槭(1.37)、青榨槭(*Acer davidii*, 1.37)、杉木(1.38)、

川鄂山茱萸(*Cornus chinensis*, 1.40)、缺萼枫香(*Liquidambar acalycina*, 1.47)、格药柃(*Eurya muricata*, 1.55)、浙闽樱(*Cerasus schneideriana*, 1.60)、木荷(*Schima superba*, 1.75)、柳杉(2.18)、褐叶青冈(*Cyclobalanopsis stewardiana*, 2.36)。

2.4 优势种的种间相关性

种间相关性研究发现,多数种对之间种间不相关。从表 1 可见:66 个种对中仅 15 个种对间显著相关($P < 0.05$),其中 6 个种对显著正相关,9 个种对显著负相关;在香果树与其他优势树种的关系中,仅香果树-杉木(-0.34)和香果树-毛脉槭(-0.39) 2 个种对呈现显著种间负相关,香果树-川鄂山茱萸(-0.32)和香果树-缺萼枫香(-0.30) 2 个种对呈现较显著种间负相关($0.05 < P < 0.1$)。

3 讨论

群落生态位特征和种间关系一直是珍稀植物保护生物学研究的重要方面。生态位反映了物种在一定层次和范围内生存和发展所需要的条件及其在群落中的地位和作用^[22]。生态位宽度主要反映种群对资源利用的程度或对环境的适应状况,其大小取决于物种对环境的适应性、种间竞争强度和环境因子的分布状况^[20,22-23]。珍稀濒危物种通常具有独特

的生境需求,理论上,其生态位较狭窄^[26]。本文发现在九龙山分布的香果树具有最大的生态位宽度,这与康华靖等^[6]在浙江大盘山的研究结果一致。九龙山是浙江省内香果树的主要分布地之一,据调查九龙山区分布着 950 棵香果树^[27]。在本研究调查的样地中,香果树不仅数量较多,而且胸径大,这说

明了香果树目前对于九龙山区分布点生境的良好适应性。前人的调查都发现香果树对于岩石裸露度高、土层浅薄的生境有较好的适应能力和环境资源利用能力^[5-6],本文的调查也发现九龙山大岩前等香果树分布地大多岩石风化程度较低、土层浅薄,非常符合香果树对生境的需求。

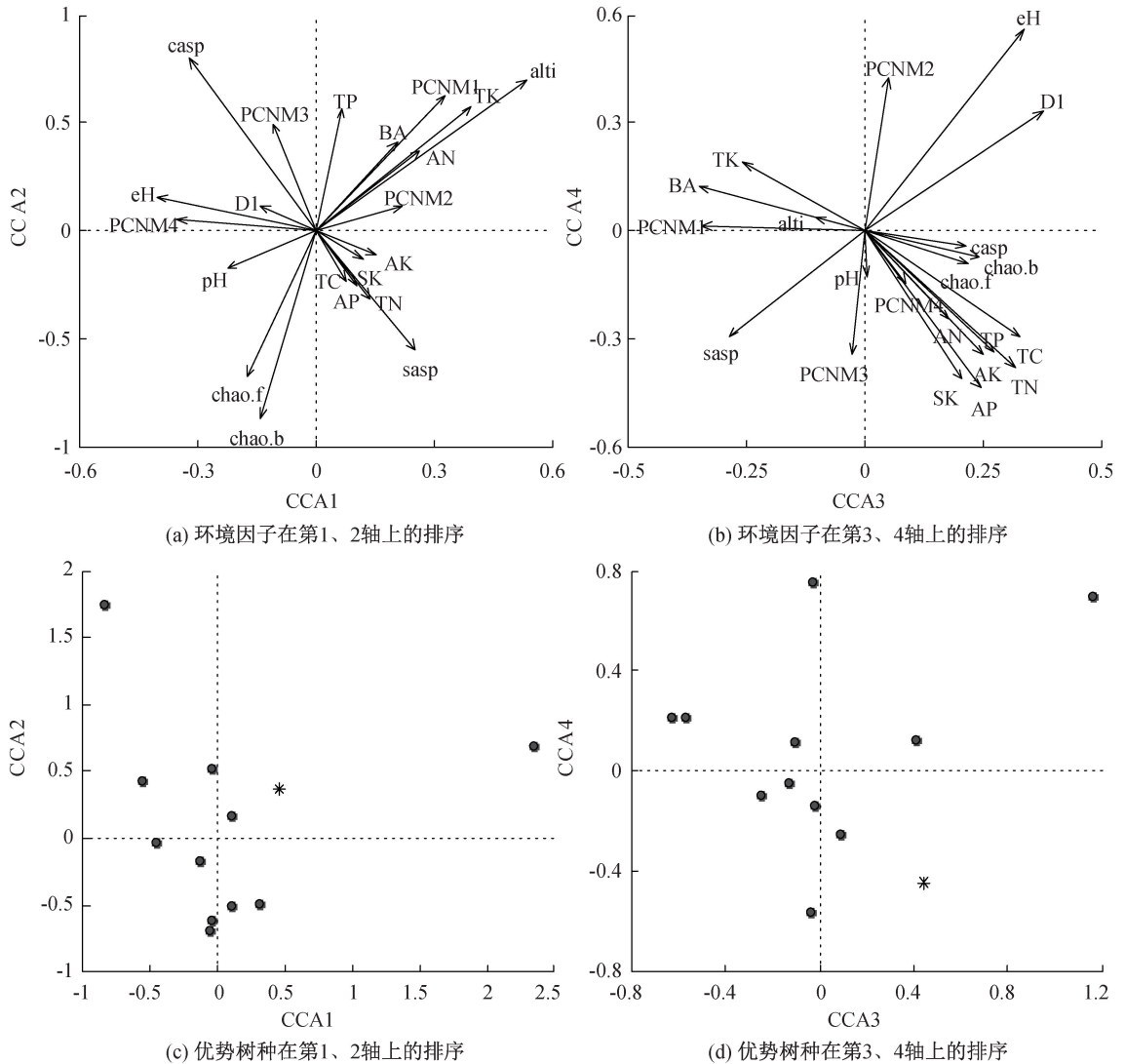


图 2 九龙山香果树群落环境因子和优势树种的 CCA 排序图

注:圆点表示 11 种主要伴生树种,* 点表示香果树。alti 为海拔,sasp 和 casp 为坡向的正、余弦值,TC、TN、TP、TK、SK、AK、AP、AN、pH 分别表示土壤有机质、全氮、全磷、全钾、缓效钾、速效钾、速效磷、碱解氮、pH,eH、D1 和 BA 分别表示群落树木的香农多样性指数、辛普森多样性指数和总胸高断面面积,chao. b 和 chao. f 分别表示土壤细菌和真菌的 chao 多样性指数,PCNM1~4 表示包含样地空间距离信息的邻体矩阵主坐标排序轴。

除香果树占据最宽的生态位外,本文也发现在香果树群落中其他 11 个优势树种的生态位宽度也较大,基本在 0.60 以上,仅柳杉低于 0.60,这说明这些优势树种非常适应九龙山香果树定居点的生境,能够充分利用这里的环境资源。比较发现,九龙山的香果树群落中(包含香果树在内)的优势树种的生态位宽度,显著大于大盘山的香果树群落中的优

势树种的生态位宽度($P < 0.05$)^[6],其主要原因在于九龙山香果树群落物种多样性更高,垂直结构更加复杂,群落包含了更多演替中后期的常见树种,如毛脉槭、木荷、褐叶青冈等。这些树种对九龙山香果树定居点的生境适应能力更强,而大盘山香果树群落种类较为单一,且高大乔木树种很少^[6]。

根据生态位理论,在珍稀植物进化过程中容易

出现生态位严重特化的现象^[9]。生态位特化引起香果树与其他优势树种间的生态位重叠度下降。本文发现九龙山香果树与其他优势树种的生态位重叠度介于0.33~0.50之间,整体上较为适中。九龙山的香果树与其他优势树种间的生态位重叠度并未显著小于群落中其他优势树种相互间的生态位重叠度,但小于大盘山香果树与其他优势树种的生态位重叠度^[6],这得益于九龙山香果树在生态需求上与其他优势树种保持了一定差异,出现了一定的生态位特化。在排序图上香果树出现在其他优势树种分布区的外围,这有利于减小香果树与其他优势树种的总竞争强度,保证了现有香果树在群落中的生存。然而,香果树与杉木、毛脉槭、川鄂山茱萸和缺萼枫香等优势树种仍保持了较高的资源利用相似度。生态位理论认为生态位重叠是物种间利用性竞争排斥的必要条件^[26]。当上述优势树种与香果树在资源相对不足的成熟森林中相遇时,容易产生相互竞争。种间相关分析结果证实,香果树与杉木、毛脉槭存在显著负相关,香果树与川鄂山茱萸、缺萼枫香存在较显著负相关。康华靖等^[6]在大盘山的研究也表明,香果树与杉木存在较强的竞争关系。已有的研究显示,香果树幼苗和幼树在林下更新困难是香果树种群衰退的重要原因,大量伴生树种个体在香果树母树冠缘附近聚集阻碍了香果树幼苗在母树附近的更新^[17]。本文的结果进一步表明,杉木、毛脉槭、川鄂山茱萸和缺萼枫香在这一过程中比其他伴生树种起着更为重要的负作用。随着群落进一步演替,杉木的优势度将会减小,今后应特别关注毛脉槭对于香果树生长和繁育的影响。种间互作不仅阻碍香果树更新,可能还限制香果树的胸径生长,然而本文仅对单次调查的数据进行了分析,种间互作对于香果树生长和繁殖的动态影响有待于进一步研究。

本文发现2个生态位宽度相对较小的优势树种褐叶青冈和柳杉,与香果树间存在较高的生态位重叠;同时它们与香果树的种间关联均为不显著正关联。一般的解释是植物在争抢资源的同时也存在彼此促进的关系^[1,14]。然而,本文的CCA排序分析结果为解释这一现象提供了另一个更清晰的视角。CCA排序分析结果表明,相比于其他优势树种,柳杉和褐叶青冈在环境因子多维空间中与香果树保持了最远的距离,即香果树与这两个树种在资源利用上维持了较高的生态位分化,这是2个种群在群落中趋同分布但没有出现激烈竞争的重要生态基础。

Pianka指数等生态位重叠指数仅反映2个对

象树种的综合多度在各样地(或称综合资源位)中分配的一致性,忽略了各样地各环境因子的差异程度,使生态位重叠程度的计测变得较为粗放,利用CCA分析可以很好地弥补这一传统生态位计测指数的缺陷^[24]。因此,在今后的生态位特征研究中应该充分利用和重视环境因子调查。此外,生态位特性还与树木本身的功能特征有关,今后的研究应进一步从树木的根、茎、叶功能性状和繁育特征入手,从多维生态位角度深入研究珍稀植物与伴生种的生态位分化机制。

4 结 论

本文通过分析九龙山香果树群落优势树种的生态位宽度和重叠度,结合CCA分析深入了解珍稀植物香果树的生态位特征及其与群落其他优势树种的种间关系,得到如下主要结论:

a)在九龙山香果树群落中,香果树的生态位宽度最宽,能较好地适应其分布地的现有生境,在资源占据上处于优势地位。

b)香果树在天然林中未出现极端的生态位特化,在多维生态空间中其仍与优势伴生种保持了一定的生态距离,形成了适度生态位偏移,主要伴生树种对香果树的竞争总体上并不十分强烈。

c)优势伴生种也具有较宽的生态位,其中杉木、毛脉槭、川鄂山茱萸和缺萼枫香与香果树存在负关联。

参考文献:

- [1] 郑子洪, 郑伟成, 郑蓉, 等. 香果树保护生物学研究进展[J]. 浙江林业科技, 2022, 42(4): 94-101.
- [2] 浙江珍稀濒危植物编委会. 浙江珍稀濒危植物[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1994: 337.
- [3] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第71卷[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 24.
- [4] 彭仙丽, 李莉, 张光富, 等. 苏南山区5个斑块香果树群落物种组成及多样性特征[J]. 植物资源与环境学报, 2017, 26(4): 93-100.
- [5] Shang K K, Chen B, Zhang X J, et al. Topographic influences on the population persistence of a tertiary relict deciduous tree *Emmenopterys henryi* Oliv. on Mt. Tianmu, eastern China[J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2020, 18(5): 6053-6067.
- [6] 康华靖, 陈子林, 刘鹏, 等. 大盘山香果树(*Emmenopterys henryi*)种内及其与常见伴生种之间的竞争关系[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3456-3463.
- [7] 张继强, 芦娟, 王三英, 等. 濒危植物大果青杆群落生态位特

- 征及群落稳定性[J]. 植物研究, 2024, 44(6): 863-869.
- [8] 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): 1-11.
- [9] 江波, 周先容, 尚进, 等. 中国特有植物巴山榧树的种群结构与动态[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 1016-1027.
- [10] 方庆, 谭菊荣, 许惠春, 等. 珍稀濒危植物细果秤锤树群落物种组成与生态位分析[J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(5): 931-939.
- [11] 李锦婷, 穆君, 申开平, 等. 小黄花茶群落优势木本植物生态位及种间联结性[J]. 生态学报, 2024, 44(1): 283-294.
- [12] 魏志琴, 李旭光, 郝云庆. 珍稀濒危植物群落主要种群生态位特征研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004, 26(1): 1-4.
- [13] 陈玉凯, 杨琦, 莫燕妮, 等. 海南岛霸王岭国家重点保护植物的生态位研究[J]. 植物生态学报, 2014, 38(6): 576-584.
- [14] 丁少华, 葛继稳, 彭凤姣, 等. 赛武当国家级自然保护区珍稀濒危植物生态位特征[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(12): 70-75, 82.
- [15] 郑子洪, 郭小华, 包小梅, 等. 浙江九龙山香果树群落乔木层物种的多样性格局[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(4): 485-493.
- [16] 张明月, 刘楠楠, 刘佳, 等. 湖南大围山和八面山香果树种群的年龄结构和演替动态比较[J]. 西北植物学报, 2017, 37(8): 1603-1615.
- [17] 郑子洪, 郑伟成, 杨晓君, 等. 浙江九龙山香果树径级结构和空间分布格局[J]. 浙江林业科技, 2023, 43(6): 1-9.
- [18] 潘金贵, 韦直. 浙江九龙山自然保护区自然资源研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 139-157.
- [19] 骆争荣, 郑伟成, 唐战胜, 等. 浙江九龙山香果树生境土壤微生物多样性及其影响因素[J]. 浙江农林大学学报, 2024, 41(5): 1013-1023.
- [20] 李德志, 石强, 臧润国, 等. 物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型[J]. 林业科学, 2006, 42(7): 95-103.
- [21] Abrams P. Some comments on measuring niche overlap[J]. Ecology, 1980, 61(1): 44-49.
- [22] 李?, 朱金兆, 朱清科. 生态位理论及其测度研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(1): 100-107.
- [23] 赵阳, 李波, 王飞, 等. 白龙江沙滩林场次生林群落优势种群结构与生态位特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2023, 51(4): 45-54, 64.
- [24] 张亚芬, 郑子洪, 陈旭波, 等. 入侵植物藿香蓟与常见伴生杂草的生态位特征[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3727-3737.
- [25] R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing[CP/OL]. (2023-05-22) [2024-10-31]. <https://www.R-project.org>.
- [26] Serrano H C, Pinto M J, Branquinho C, et al. Ecology as a tool to assist conservation of a rare and endemic Mediterranean *Plantago* species [J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2021, 9:614700.
- [27] 王昌腾. 浙江省九龙山国家级自然保护区珍稀濒危植物调查研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(2): 250-251.

团队介绍

郑子洪学术团队专注于自然保护区珍稀植物保护与管理,主要研究方向为自然保护区管理、珍稀动植物保护、亚热带常绿阔叶林生物多样性维持、植物分类等。团队包括教授级高工 1 名,高级工程师 2 名,副教授 3 名,硕博研究生 5 名。近年来,在浙江省自然科学基金(2 项)、丽水市科技计划项目(2 项)、遂昌县县校合作项目(5 项)等的资助下,团队在亚热带森林生物多样性维持机制、珍稀植物保护等方面取得一系列科研成果,共发表研究论文 50 余篇,其中 SCI 论文 5 篇,授权专利 20 余件,出版专著 6 部,参与制定相关标准 10 项,获省部级奖项 5 个。团队带头人郑子洪,高级工程师,本科毕业于浙江农业大学,现为浙江省植物学会理事,主要从事自然保护区管理、植物资源保护与开发利用研究。

(责任编辑:张会巍)