

◆濒危植物生态群落多样性◆

始兴县将军栋自然保护区植物群落分布格局及其与环境因子的关系*

谭勇^{1,2}, 林春惠^{1,2}, 顾惠怡¹, 陈红锋¹, 易绮斐^{1,2**}

(1. 中国科学院华南植物园, 广东省应用植物学重点实验室, 广东广州 510650; 2. 仲恺农业工程学院农业与生物学院, 广东广州 510225)

摘要:深入探究自然保护区植物群落的分布格局及其与环境因子的关系对于理解生物多样性的维持机制具有重要意义。本研究以始兴县将军栋自然保护区(以下简称始兴将军栋保护区)内16个400 m²样方作为基本研究单元,利用野外物种调查数据,同时结合环境因子,采用层次聚类分析和冗余分析方法对样方进行分类,并解释群落与环境因子之间的关系。研究结果如下:在6400 m²的样方内,记录到406种维管束植物,分属于101科228属;通过层次聚类分析,可将16个样方划分为5个群丛;冗余分析结果显示,环境因子对群丛分布的解释量为46.07%;其中,海拔、年平均气温、年平均降水量与群落分布格局呈显著相关($P < 0.01$),海拔对群落分布格局的影响最为显著,地形、坡度、坡向和腐殖质厚度与群落分布格局之间的相关性不显著($P > 0.05$);5个群丛中,群丛I[浙江润楠-鼠刺-狗脊(*Machilus chekiangensis*-*Itea chinensis*-*Woodwardia japonica*)]的Shannon-Winener指数、Simpson指数和Pielou指数最高。本研究结果表明,始兴将军栋保护区的植物群落分布格局主要受海拔的影响,而气候因子是影响物种多样性的关键因素。

关键词:群丛;环境因子;分布格局;相关性分析;始兴将军栋自然保护区

中图分类号:Q948.15 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2023)06-1124-09

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20240125.011

植被空间分布作为评估森林生态系统结构和功能的关键指标^[1],可以反映植物如何利用环境资源以及它们在群落中的作用和地位,是研究群落结构、种群间相互作用以及种群与环境关系的重要工具^[2]。近年来,已经有大量研究关注环境和空间过程如何影响群落的形成。例如,马紫荆等^[3]应用冗余分析方

法,探讨了天山中段南坡巴伦台地区植物群落物种多样性与海拔梯度、土壤因子之间的关系,结果表明影响植物群落物种多样性的主要因子是海拔、土壤含水量、全盐,其次是有机质、全氮和有效氮。王金兰等^[4]采用线性回归法分析东祁连山高寒杜鹃灌丛群落特征和物种多样性在海拔梯度上的变化规律,结果表明

收稿日期:2023-09-07

修回日期:2023-10-24

* 韶关始兴将军栋地方级自然保护区综合科学考察资料汇编项目(E142131001)资助。

【第一作者简介】

谭勇(1998-),男,在读硕士研究生,主要从事物种多样性保育研究,E-mail:2423159201@qq.com。

【**通信作者简介】

易绮斐(1971-),女,副研究员,主要从事濒危植物保护研究,E-mail:yiqifei@scbg.ac.cn。

【引用本文】

谭勇,林春惠,顾惠怡,等.始兴县将军栋自然保护区植物群落分布格局及其与环境因子的关系[J].广西科学,2023,30(6):1124-1132.

TAN Y, LIN C H, GU H Y, et al. The Distribution Patterns of Plant Communities and Their Relationship with Environmental Factors in Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County [J]. Guangxi Sciences, 2023, 30(6): 1124-1132.

草本、灌木和群落的 Shannon-Wiener 多样性指数、丰富度指数在海拔 3 080 m 达最大。桂旭君等^[5]通过测量树高来划分群落的垂直层次,并以此研究鼎湖山森林群落的构建机制,结果表明光照可能是影响群落垂直结构的限制因子。杨浚恒等^[6]运用排序分析方法,探究了两种藓类沼泽植物群落的组成差异及其与环境因子的关系,结果显示 pH 值是影响群落组成的关键因子。此外,周红灿等^[7]结合无人机遥感技术、定点分析和主成分分析,揭示了洞庭湖水陆交错带植被在水位交替变化下的演替规律,并划分了“群落物种”和“物种生态环境”两个主要成分。上述研究表明,影响群落分布格局的驱动因子在不同地区的主导地位不一样,气候因子、环境因子和土壤因子共同调节群落的分布。揭示环境因子与植物群落分布格局的相互关系及作用机理,是生态学领域的研究热点^[8]。

始兴县拥有众多自然保护区,包括车八岭国家级自然保护区和始兴县将军栋自然保护区(以下简称始兴将军栋保护区)等,栾福臣等^[9]、吴智宏等^[10]和宋相金等^[11]对车八岭国家级自然保护区进行了一些研究,但至今尚未见到始兴将军栋保护区的相关研究报告。始兴将军栋保护区位于始兴深渡水瑶族乡和隘子镇的交界处,总面积约为 60 万平方米,清化河贯穿该区全境,动植物资源极为丰富,原始森林风貌得以保持,在水源保护、固氮、生态平衡等方面发挥着重要作用。因此,为更全面地了解该地区生态系统的维持机制,本研究选取始兴将军栋保护区内 6 400 m² 的植物群落作为研究对象,结合物种信息数据和环境因子,采用层次聚类分析和冗余分析的方法来分析保护区内植物群落的物种组成情况,并进一步探究植物群落划分及其与环境因子间的关系。通过上述研究,拟为始兴将军栋保护区提供关于植物群落的地理分布规律、演替机制和生态适应性等方面的实证基础和理论支持,为其生态环境保护和合理开发利用提供参考依据和科学决策支持,以促进保护区的生态环境完善和可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本次研究调查的地区位于广东省韶关市始兴县,地理坐标为 113°54′ - 114°22′ E, 24°31′ - 25°60′ N (图 1)。始兴县地处南岭山脉南部山脚下,地形多变,四周被山地环绕,县境外部地形错落有致,平均海

拔高于 400 m。该地区属于中亚热带气候带,年平均气温为 19.6 °C。降水充沛,4 - 6 月平均降水量约为 680 mm,11 月至次年 1 月平均降水量为 156.2 mm,年均降水量为 1 468 mm。主导风向为东风,四季分明,无霜期长达 298 d。始兴县自然资源丰富,拥有多种非金属矿产资源,森林覆盖面积达到 170 668 万平方米,森林覆盖率达 73.3%。该地区的高等植物种类多样,包括珍稀保护物种如巴戟天(*Morinda officinalis*)、金毛狗(*Cibotium barometz*)、观光木(*Michelia odora*)、桫欏(*Alsophila spinulosa*)等。由于拥有得天独厚的森林生态资源,该地区具有较高的保护和学术研究价值。

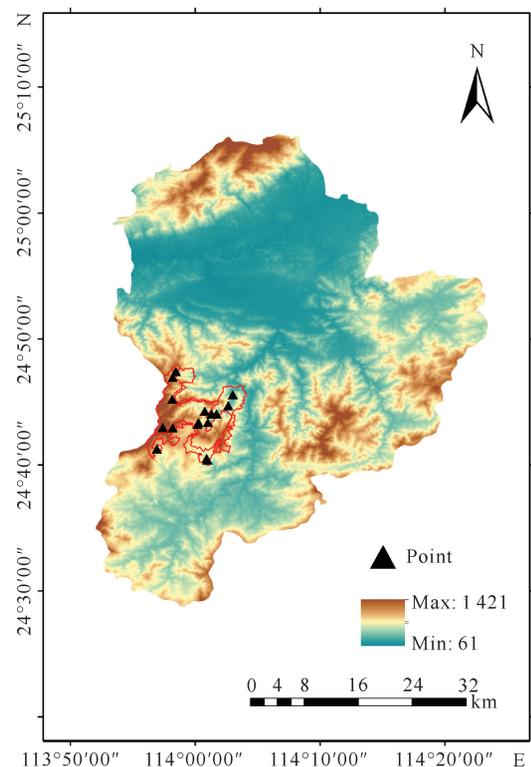


图 1 始兴县高程图

Fig. 1 Elevation map of Shixing County

1.2 样方调查

在研究区域内随机选择不同生境的各植被群落作为此次调查的样方,共设置 16 个 20 m × 20 m 的样方作为乔木大样方,在乔木大样方中随机设置 2 个 5 m × 5 m 的灌木小样方和 5 个 1 m × 1 m 的草本小样方,结合方精云等^[12]的方法,记录样方的经纬度、海拔、坡度、坡位、腐殖质厚度等生境信息,以及样方内的植物。乔木的选取标准为高度 ≥ 3 m,胸径 ≥ 3 cm,统计乔木的数量、树高、胸径和冠幅,灌木的数量、基径、高度和盖度,草本的数量、盖度和高度。通过样方法调查,评估研究区域内各类生境所包含的植

被类型及其变化情况。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值计算

乔木重要值 = 相对多度 + 相对频度 + 相对显著度,

灌木重要值 = 相对多度 + 相对频度 + 相对盖度,

草本重要值 = 相对多度 + 相对频度 + 相对盖度, 式中: 相对多度为某个种的株数与所有种的总株数之比; 相对频度为某个种在统计样方中出次的次数与所有种出现的总次数之比; 相对显著度为某个种胸高断面积和与所有种的胸高断面积和之比; 相对盖度为物种所有个体的盖度和与所有种个体的盖度面积和之比。

1.3.2 多样性指数

物种多样性指数包括 Simpson 指数 (D)、Shannon-Wiener 指数 (H')、Pielou 均匀度指数 (J_{sw})。Shannon-Wiener 指数表示群落的复杂程度, 物种个体出现的紊乱和不确定性越大, 其值越高; Simpson 指数表示群落的多样性, 反映优势种在群落中的作用和地位; Pielou 指数是用来衡量物种在群落中的相对密度的指数, 反映物种个体数目的分布情况。多样性指数的计算公式分别如下:

$$D = 1 - \sum P_i^2,$$

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i),$$

$$J_{sw} = - \sum (P_i \ln P_i) / \ln S,$$

式中: S 为样方内所有物种数, N 为样方内所有植株数, P_i 是物种 i 的重要值。

1.3.3 环境变量

选取海拔、坡度、坡向、地形、腐殖质厚度、年平均气温、年平均降水量 7 个环境因子作为环境变量。TRASP (Transformation of aspect) 指数^[13] 是用于转化介于 0 和 1 之间的坡向数值的指数, 值越大表示坡向与理论最佳坡向完全一致, 公式如下:

$$\text{TRASP} = \frac{1 - \csc[\pi(A - 30)/180]}{2},$$

式中: A 表示坡向。

地形位置指数 (Topographic Position Index, TPI): 地面上某点的 TPI 值等于该点高程值与该点邻域内 (自定义) 其他点的高程平均值之差。按山脊山谷分类, 利用 ArcGIS 工具将 16 个样方的地形赋值, 值越小表示越接近谷底, 值越大表示越靠近山脊。年平均气温和年平均降水量从世界气候数据网站 (<https://www.worldclim.org/>) 中获取, 在 ArcGIS

10.7 软件中使用经纬度坐标定位采样点, 并从相应位置提取气候因子数据。

1.3.4 数据计算

根据《中国植被》的分类原则, 以物种的重要值为依据, Ward 聚类方法划分群丛, 通过计算 Euclidean 距离划分群丛^[14], 在 SPSS Statistics 27.0 软件中进行数据分析并绘制聚类树状图。冗余分析 (Redundancy Analysis, RDA) 能反映群落与环境因子之间的关系, 因此以 16 个样方的 7 个环境因子作为自变量, 物种在样方中的重要值作为因变量, 在 <https://www.omicshare.com/> 的云工具进行 RDA 排序分析。

2 结果与分析

2.1 物种多样性

在调查的 6 400 m² 样方中, 记录到维管束植物共 406 种, 隶属 101 科 228 属, 其中樟科 (Lauraceae) 26 种、壳斗科 (Fagaceae) 21 种、山茶科 (Theaceae) 19 种、大戟科 (Euphorbiaceae) 17 种、茜草科 (Rubiaceae) 17 种, 分别占总种数的 6.40%、5.17%、4.68%、4.19% 和 4.19%。在物种组成中, 乔木层共 177 种, 优势种有米槠 (*Castanopsis carlesii*) 和木荷 (*Schima superba*); 灌木层共 237 种, 优势种有鼠刺 (*Itea chinensis*)、枇杷叶紫珠 (*Callicarpa kochiana*) 和木荷; 草本层共 117 种, 优势种有金毛狗 (*Cibotium barometz*)、狗脊 (*Woodwardia japonica*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*)、芒萁 (*Dicranopteris pedata*) 和乌毛蕨 (*Blechnopsis orientalis*)。该群落表现出较高的科属多样性和相对丰富性, 不同科属和层次的物种在群落中分布不均匀, 可能受到环境因素和物种间相互作用的影响。

2.2 群落分类

由图 2 可知, 16 个样方聚类成 5 个群丛类型。群丛类型的具体情况如下。

群丛 I: 浙江润楠-鼠刺-狗脊 (*Machilus chekiangensis*-*Itea chinensis*-*Woodwardia japonica*), 包括样方 2、9、10、11、12、15, 该群丛分布于海拔 458 - 685 m, 由乔木、灌木和草本构成。乔木层的优势种有浙江润楠和鹿角锥 (*Castanopsis lamontii*), 伴生种有亮叶猴耳环 (*Archidendron lucidum*) 和长毛杨桐 (*Adinandra glischroloma* var. *jubata*) 等, 郁闭度约为 75%; 灌木层的优势种有鼠刺、红背山麻秆 (*Alchornea trewioides*) 和浙江润楠等, 种类较多, 伴

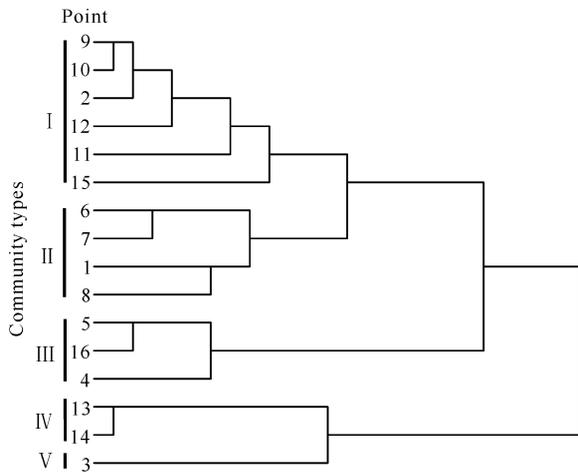


图2 始兴将军栋保护区植物群落层次聚类树状图

Fig. 2 Hierarchical clustering dendrogram of plant communities in Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County

生种有灰背清风藤 (*Sabia discolor*)、菝葜 (*Smilax china*) 和朱砂根 (*Ardisia crenata*) 等; 草本层的优势种有狗脊和金毛狗, 伴生种有母草 (*Lindernia crustacea*)、双盖蕨 (*Diplazium donianum*) 等。

群丛 II: 臀果木-青藤公-金毛狗 (*Pygeum topeggii-Ficus langkokensis-Cibotium barometz*), 包括样方 1、6、7、8, 该群丛分布于海拔 180–370 m, 由乔木、灌木和草本构成。乔木层的优势种有臀果木、南酸枣 (*Choerospondias axillaris*) 和薄叶润楠 (*Machilus leptophylla*), 伴生种有亮叶猴耳环、椴木 (*Aralia elata*) 和绒毛紫薇 (*Lagerstroemia tomentosa*) 等, 郁闭度约为 65%; 灌木层的优势种有青藤公和枇杷叶紫珠, 与乔木层种类差异明显, 伴生种有马甲菝葜 (*Smilax lanceifolia*)、琴叶榕 (*Ficus pandurata*) 和赛山梅 (*Styrax confusus*) 等; 草本层的优势种有金毛狗、小翠云 (*Selaginella kraussiana*) 和中华短肠蕨 (*Diplazium chinense*), 伴生种有杜若 (*Pollia japonica*)、绞股蓝 (*Gynostemma pentaphyllum*) 和龙须藤 (*Phanera championii*) 等。

群丛 III: 米楮-米楮-华山姜 (*Castanopsis carlesii-Castanopsis carlesii-Alpinia oblongifolia*), 包括样方 4、5、16, 该群丛分布于海拔 414–531 m, 由乔木、灌木和草本构成。乔木层的优势种为米楮, 重要值远大于其他乔木, 伴生种有绒毛润楠 (*Machilus velutina*)、爪哇脚骨脆 (*Casearia velutina*) 和椴木等, 郁闭度约为 80%; 灌木层的优势种有米楮、朱砂根和毛果巴豆 (*Croton lachnocarpus*) 等, 多为乔木幼苗, 伴生种有虎舌红 (*Ardisia mamillata*)、薯蓣 (*Dioscorea polystachya*) 和光叶海桐 (*Pittosporum gla-*

bratum) 等; 草本层的优势种有华山姜、狗脊和乌毛蕨等, 伴生种有乌蕨 (*Odontosoria chinensis*)、中华薹草 (*Carex chinensis*)、华南毛蕨 (*Cyclosorus parasiticus*) 等。

群丛 IV: 木荷-青藤公-垂穗石松 (*Schima superba-Ficus langkokensis-Palhinhaea cernua*), 包括样方 13、14, 该群丛分布于海拔 975–1 030 m, 由乔木和草本构成。乔木层的优势种为木荷, 重要值远大于其他乔木, 伴生种有杜鹃 (*Rhododendron simsii*)、秤锤树 (*Sinojackia xylocarpa*) 和亮叶冬青 (*Ilex nitidissima*) 等, 郁闭度约为 75%; 灌木层的优势种有青藤公、枇杷叶紫珠等, 伴生种有虎舌红、薯蓣和光叶海桐等; 草本层的优势种有垂穗石松、芒 (*Miscanthus sinensis*) 和淡竹叶等, 伴生种有马甲菝葜、琴叶榕和赛山梅等。

群丛 V: 杨梅-青茶香-淡竹叶 (*Morella rubra-Ilex hanceana-Lophatherum gracile*), 只包含样方 3, 该群丛主要分布于海拔 841 m 处, 由乔木、灌木和草本构成。乔木层的优势种为杨梅, 伴生种有凹脉红淡比 (*Cleyera incornuta*) 和延平柿 (*Diospyros tsangii*) 等, 郁闭度约为 60%; 灌木层的优势种有青茶香、尖叶毛柃 (*Eurya acuminatissima*) 等, 伴生种有毛棉杜鹃 (*Rhododendron moulmainense*) 和木油桐 (*Vernicia montana*) 等; 草本层的优势种为淡竹叶, 重要值远大于其他草本, 伴生种有肖菝葜 (*Smilax japonica*)、锈毛莓 (*Rubus reflexus*) 等。

始兴将军栋保护区内存在 5 种不同的群丛类型, 根据海拔可分为灌丛带 (群丛 II)、亚高山森林带 (群丛 I、III)、高寒灌丛带 (群丛 IV、V), 每种类型都具有独特的植被组成和特征, 不同群丛类型的植被结构也有所不同, 乔木层、灌木层和草本层的组成受到环境条件、地形变化的影响。

2.3 植被群落分布与环境因子的关系

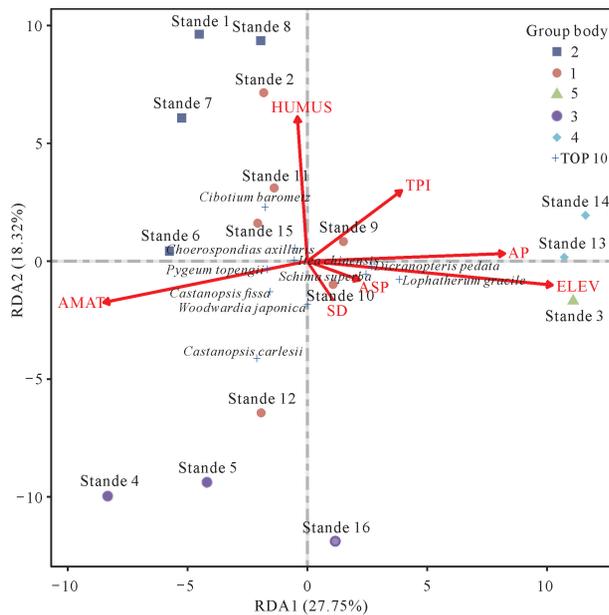
通过 RDA 分析, 解释环境因子对始兴将军栋保护区的 5 个群丛分布的关系。如表 1 所示, 前两轴 7 个环境因子对群丛分布的解释率累计为 46.07% (第 I 轴为 27.75%、第 II 轴为 18.32%), 环境因子重要性排序依次为海拔 > 年平均气温 > 年平均降水量 > 坡向 > 地形 > 坡度 > 腐殖质厚度。海拔、年平均气温和年平均降水量的解释量分别占总信息量的 82.81%、58.47% 和 53.30%, 达到显著水平 ($P < 0.05$); 坡向、地形、坡度、腐殖质厚度的解释量无显著差异 ($P > 0.05$)。年平均降水量显著影响群丛 IV 的

多样性和鼠刺的分布,年平均气温和海拔显著影响群丛V的多样性及芒萁、臀果木的分布(图3)。

表1 始兴将军栋保护区环境因子 RDA 排序轴的相关性

Table 1 Correlation of environmental factors RDA ranking axis in Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County

环境因子 Environmental factors	重要性排序 Importance ranking	解释量/% Explanatory quantity/%	P
Elevation	1	82.81	0.001
Annual mean air temperature	2	58.47	0.003
Annual precipitation	3	53.30	0.005
Aspect	4	24.94	0.148
Topographic position index	5	18.01	0.257
Slope degree	6	2.79	0.753
Humus	7	4.22	0.754



ELEV: elevation; TPI: topographic position index; ASP: aspect; SD: slope degree; HUMUS: humus; AMAT: annual mean air temperature; AP: annual precipitation.

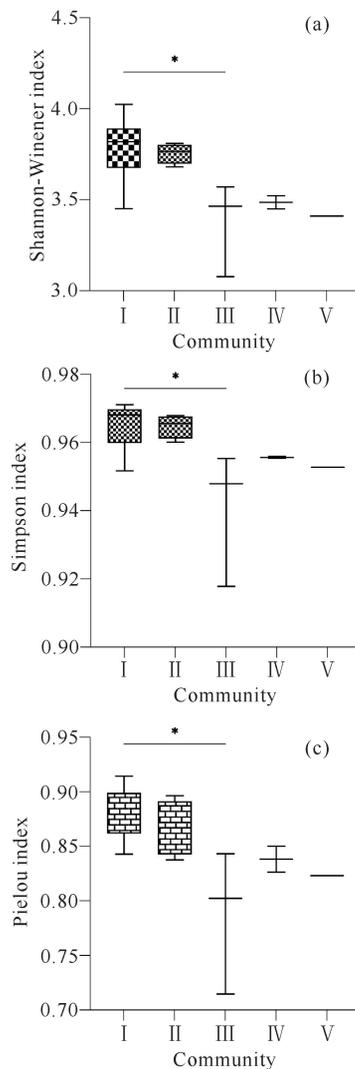
图3 始兴将军栋保护区环境因子的冗余分析

Fig. 3 Redundancy analysis of environmental factors in Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County

2.4 物种多样性指数分析

由图4可知,群丛I的Shannon-Winener指数、Simpson指数和Pielou指数较高,表明该群丛的乔木层、灌木层和草本层包含丰富的植物种类。在乔木层和灌木层中,虽然浙江润楠、鹿角锥等优势种占据主导地位,但是每个层级没有出现明显的物种优势地位。与群丛I相比,群丛III的物种多样性指数表现出

显著的差异。在群丛III中,米楮是乔木层和灌木层的优势种,其优势度较高,重要值显著超过其他物种,与群丛I中的浙江润楠在不同层级的优势地位存在明显不同。群丛II、IV和V的物种多样性指数未达到显著差异。随着海拔的递增,群丛的Shannon-Winener指数、Simpson指数和Pielou指数均呈增减交替趋势,群丛多样性指数表现为群丛I(海拔458-685 m) > 群丛II(海拔180-370 m) > 群丛IV(海拔975-1030 m) > 群丛V(海拔841 m) > 群丛III(海拔414-531 m),这一趋势反映了海拔梯度对群落结构和物种多样性的影响。



* indicates significant difference between treatments at the 0.05 level.

图4 5个群丛物种多样性指数

Fig. 4 5 community species diversity indices

3 讨论

3.1 物种多样性

群落的物种组成特征及其物种多样性,对研究群落的起源、演替和属性等具有重要的参考价值^[15]。本研究调查结果表明,始兴将军栋保护区研究区域共有维管束植物 101 科 228 属 406 种,植物资源丰富。乔木层的优势种为米楮、木荷、南酸枣、黧蒴锥(*Castanopsis fissa*)和罗浮锥(*Castanopsis faberi*),米楮、黧蒴锥和罗浮锥均来自壳斗科,皆具有一定的经济价值;木荷、南酸枣两种植物生长快,适应性强,木荷作为一种绿化树种,其本身具有较好的耐火性,为防火带常见树种;南酸枣木材可加工,果实可药食,提高了保护区的森林可持续经营能力。灌木层的优势种有鼠刺、枇杷叶紫珠、木荷、米楮和郎伞木,其中木荷和米楮是乔木层优势种的幼树,说明这两个物种的连续性和更新状况良好,在群落中起着主导作用^[16]。草本层的优势种有金毛狗、狗脊、淡竹叶、芒萁和乌毛蕨(其中金毛狗属于国家二级保护植物),蕨类占 4 种,表明蕨类资源丰富,而蕨类本身又有提高土地肥力、保持水分的作用,后期能为乔木幼苗的种植提供合适的生长环境^[17]。

3.2 植物群落的分类及分布

植物群落分类的方法有聚类分析、双向指示种分析和多元回归树分析^[18]。本研究使用聚类分析来划分植物群落:以重要值为依据,把相似性距离较近的样方归为一类,结果表明研究区域内的 16 个样方可划分为浙江润楠-鼠刺-狗脊、臀果木-青藤公-金毛狗、米楮-米楮-华山姜、木荷-青藤公-垂穗石松和杨梅-青茶香-淡竹叶等 5 个群丛,在海拔梯度上由下而上依次为灌丛带(群丛 II)、亚高山森林带(群丛 I、III)、高寒灌丛带(群丛 IV、V),体现了始兴将军栋保护区在垂直梯度上的植物群落分布特征^[19]。群落分布是环境因子之间共同作用的结果,地形^[20]、海拔^[21]、气候^[22]等环境因子可能会对群落分布格局产生重要影响。随着海拔梯度的变化,温度、降水、湿度等环境因子也会协调变化,进而影响植物群落的分布格局^[23]。臀果木-青藤公-金毛狗等灌丛带的海拔较低,能适应较高的温度和较强的光照,在相对温暖的条件下繁衍和生长,可防止土壤侵蚀,维持土壤的稳定性,减少水土流失^[24]。浙江润楠-鼠刺-狗脊、米楮-米楮-华山姜等群丛通常适应于中等海拔的亚高山森林带,对低温和高山环境的适应能力强,它们的根系可以吸收水

分,减少洪水和泥石流的风险^[25],在亚高山森林带中起到了水源保护和土壤保持的关键作用。木荷-青藤公-垂穗石松、杨梅-青茶香-淡竹叶等群丛生活在高寒灌丛带,适应于寒冷的高山环境,在高寒灌丛带中维持高山草甸生态系统的稳定,具有重要的生态服务功能,如保持土壤稳定、调节气候等^[26]。较高的 Shannon-Wiener 指数表明群丛 I 具有较高的物种多样性,即它们包含更多的物种,说明群丛 I 的生态系统较为复杂,包含了较多的植物种类。与差异显著的群丛 I 相比,群丛 III 的 Shannon-Wiener 指数相对较低,它们的生态系统相对简单,物种数量较少。较高的 Simpson 指数表明群丛 I 中的物种优势度高,这可能说明群丛中的浙江润楠、鹿角锥对整个群丛的结构和功能具有显著影响。Pielou 指数衡量了物种在群丛中的相对丰度分布,群丛 I 的高 Pielou 指数表明物种相对均匀分布,而群丛 III 的低 Pielou 指数表明某些物种(如米楮)可能占群落的主导地位。了解不同群丛的生态适应性和物种多样性有助于保护区管理者更好地规划和实施生态保护措施,修复和维护受损的植物群落类型,提高生态系统的稳定性。

3.3 环境因子对物种多样性的影响

地形生境异质性对物种多样性格局的形成和维持起着重要作用^[27],而且各个环境因子对群丛分布的影响程度不同。海拔与物种多样性的相关关系有两种理论:一是中间高度膨胀理论^[28],二是负相关理论^[29]。比较 5 个群丛的多样性发现,始兴将军栋保护区的物种多样性随海拔呈“中间高度膨胀理论”分布趋势,群丛 I 分布于海拔 458 - 685 m, Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 指数最高,表明在此海拔范围内群丛的植物群落更为丰富且分布更为均匀,优势种并不突出,更适合多种植物共存。从群丛多样性指数的排列来看,群丛 I 的多样性最高,其次依次为群丛 II、IV、V,群丛 III 的多样性最低,反映了海拔梯度对群丛结构和物种多样性的影响。海拔的变化可能导致坡度、坡向、地形、腐殖质厚度、年平均气温、年平均降水量等环境因素的变化,从而影响了植物群落的物种组成和多样性。马伟波等^[30]研究表明当植被处于特定的地形区间时,整体生长表现出较好的趋势,生长增强效果尤为显著。夏晓莹^[31]认为植物对土壤有机碳的吸收与坡向之间存在显著的关系。张帆等^[32]认为坡度与物种多样性指数之间存在着密切关系,它可以通过改变水分、氧气、养分等来影响物种分布。毛芮等^[33]发现缓坡和斜坡能

增加物种丰富度,但降低了群落密度、盖度及物种均匀度。腐殖质能改善土壤物理性质并增强其持水能力^[34],但土壤腐殖质厚度随着坡度增大而降低^[35]。温度和降水是影响群落结构的关键因子,物种多样性受温度和降水相互作用的影响^[36];温度和降水随海拔的升高而降低^[37]。

基于 RDA 排序并结合物种和环境信息,可有效地解释群落分布与环境因子的关联程度,更加直观地表现出群丛分布与环境因子之间的关系。RDA 排序表明,海拔、年平均气温和年平均降水量对群落分布有着显著影响,地形、坡度、坡向和腐殖质厚度影响较小。RDA 排序结果表明,7 个环境因子对始兴将军栋保护区的解释率只有 46.07%,可能是因为研究并未考虑土壤因子、土地利用方式、扩散限制作用、种间相互作用、人为干扰等潜在影响因子对群落分布的影响^[38]。

4 结论

本研究采用 Ward 聚类方法,将始兴将军栋保护区的 16 个样方划分为 5 个群丛。根据相关系数对群落分布格局的影响排序为海拔 > 年平均气温 > 年平均降水量,而地形、坡度、坡向和腐殖质厚度对物种的分布没有显著性影响。群落的分布格局主要受海拔的驱动,通过影响年平均温度和年平均降水量,间接影响样方内的生境,进一步导致不同群丛的物种多样性差异。

参考文献

- [1] 唐志红,尉秋实,刘虎俊,等. 祁连山东段高寒植被群落特征及其与地形气候因子关系研究[J]. 生态学报, 2020,40(1):223-232.
- [2] 张庆,牛建明,BUYANTUYEV A,等. 内蒙古短花针茅群落数量分类及环境解释[J]. 草业学报, 2012,21(1):83-92.
- [3] 马紫荆,张云玲,刘彬. 天山中段南坡巴伦台地区不同海拔植物群落物种多样性与土壤因子的关系[J]. 广西植物, 2022,42(7):1116-1125.
- [4] 王金兰,曹文侠,张德罡,等. 东祁连山高寒杜鹃灌丛群落结构和物种多样性对海拔梯度的响应[J]. 草原与草坪, 2019,39(5):1-9.
- [5] 桂旭君,练璐愉,张入匀,等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林群落垂直结构及其物种多样性特征[J]. 生物多样性, 2019,27(6):619-629.
- [6] 杨浚恒,崔海军,石珣珣,等. 贵州娘娘山湿地两种藓类沼泽植物群落组成及其与环境因子的关系[J]. 西部林业科学, 2022,51(5):59-67,88.
- [7] 周红灿,揭红东,尹伟丹,等. 洞庭湖水陆交错带植物群落特征[J]. 草业科学, 2022,39(6):1092-1105.
- [8] ROSINDELL J, HUBBELL S P, ETIENNE R S. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography at age ten [J]. Trends in Ecology & Evolution, 2011, 26(7):340-348.
- [9] 栾福臣,卢李荣,束祖飞,等. 广东车八岭常绿阔叶林物种多样性及分布格局[J]. 韶关学院学报, 2022,43(3):47-51.
- [10] 吴智宏,王梓,栾福臣,等. 车八岭 20 hm² 中亚热带常绿阔叶林监测样地群落物种组成和区系特征[J]. 林业与环境科学, 2021,37(3):86-91.
- [11] 宋相金,束祖飞,戴文坛,等. 粤北车八岭杉木人工林物种多样性及优势植物种群结构[J]. 林业与环境科学, 2017,33(1):1-8.
- [12] 方精云,王襄平,沈泽昊,等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009,17(6):533-548.
- [13] 张文静,张钦弟,王晶,等. 多元回归树与双向指示种分析在群落分类中的应用比较[J]. 植物生态学报, 2015, 39(6):586-592.
- [14] 张鸿南,邹雯,陈卓,等. 藏东地区植物群落分布格局与环境因子的关系[J/OL]. 应用与环境生物学报, 2023:1-13[2023-08-19]. https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=mRajgomPiimsxwqFOINEBU1vUH52vKgiCvWOIXCaMl4zRCysaLi86MQjA5dCdXjRoxdOy4dzM8CE1b3iDAfwVk_eFwqz5z58VKhkp6aa5G3u6Dv6I3RMzxDQyZxIHC217t4TH-mDFv4=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [15] 贾文雄,陈京华,张禹舜,等. 祁连山北坡草地植物群落特征与土壤水热因子的关系[J]. 生态学杂志, 2016, 35(3):661-667.
- [16] 王祥荣,宋永昌. 浙江天童国家森林公园常绿阔叶林种间相关的研究[J]. 应用生态学报, 1994,5(2):113-119.
- [17] 鲍淼,赵逸,林权富,等. 蕨类植物在贵州省石漠化地区生态环境恢复治理中的应用探讨:以紫云县为例[J]. 环境保护与循环经济, 2021,41(3):70-74.
- [18] VIRTANEN R, LUOTO M, RÄMÄ T, et al. Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity [J]. Global Ecology and Biogeography, 2010,19(6):810-821.
- [19] 易玉媛,王红义. 祁连山北坡植被群落垂直分布特征[J]. 防护林科技, 2013(10):6-9,16.
- [20] PINDER J E, KROH G C, WHITE J D, et al. The relationships between vegetation type and topography in

- Lassen Volcanic National Park [J]. *Plant Ecology*, 1997,131(1):17-29.
- [21] 刘梦婷,王振锡,王雅佩,等. 新疆天山云杉林群落分布格局及环境解释[J]. *林业科学研究*,2019,32(6):90-98.
- [22] O'BRIEN E M, FIELD R, WHITTAKER R J. Climatic gradients in woody plant (tree and shrub) diversity: water-energy dynamics, residual variation, and topography [J]. *Oikos*,2000,89(3):588-600.
- [23] 唐志尧,方精云,张玲. 秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释[J]. *生物多样性*,2004,12(1):115-122.
- [24] 梁方晖,赵凌平,谭世图,等. 灌草立体配置对退化草地土壤水分和养分的影响[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*,2020,48(12):18-25.
- [25] 陈礼清,孙泽平,李德文,等. 川西亚高山植被恢复过程中的土壤和地被物水源涵养能力评价[J]. *长江流域资源与环境*,2014,23(7):1048-1052.
- [26] 杨路存,赵玉红,徐文华,等. 青海省高寒灌丛物种多样性、生物量及其关系[J]. *生态学报*,2018,38(1):309-315.
- [27] 朱强,艾训儒,吴漫玲,等. 七姊妹山常绿落叶阔叶混交林物种多样性格局及其环境解释[J]. *西北植物学报*,2019,39(8):1491-1502.
- [28] 王喜龙,土艳丽,文雪梅,等. 藏东南兰科植物多样性及其沿海梯度的分布格局[J]. *中南林业科技大学学报*,2018,38(12):45-51.
- [29] 刘冠成,黄雅曦,王庆贵,等. 环境因子对植物物种多样性的影响研究进展[J]. *中国农学通报*,2018,34(13):83-89.
- [30] 马伟波,赵立君,田佳榕,等. 基于地形位置指数的赤水河流域植被时空变化研究[J]. *环境科学研究*,2020,33(12):2705-2712.
- [31] 夏晓莹. 天山云杉林土壤有机碳分布特征及其影响因素研究:以新疆农业大学实习林场为例[J]. *乌鲁木齐:新疆农业大学*,2022.
- [32] 张帆,李元淳,王新,等. 青藏高原高寒草甸退化对草地群落生物量及其分配的影响[J]. *草业科学*,2021,38(8):1451-1458.
- [33] 毛芮,郭碧花,刘金平,等. 寒区公路不同坡度护坡土壤性状和群落特征及功能群差异[J]. *草地学报*,2022,30(6):1550-1557.
- [34] 杨吉华,张永涛,孙明高,等. 石灰岩丘陵土壤旱作保水技术的研究[J]. *水土保持学报*,2000,14(3):62-66.
- [35] 高宏英,艾应伟,王克秀,等. 坡位与坡向对岩石边坡人工土壤腐殖质组分及有机质的影响[J]. *水土保持学报*,2013,27(6):244-248.
- [36] 王婧. 延河流域植物群落结构对环境梯度变化的响应[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [37] 魏加弟,徐胜涛,宋晓宏,等. 云南不同海拔及利用模式下草地土壤质量分析[J]. *甘肃农业大学学报*,2022,57(2):118-124,136.
- [38] 罗亚皇. 滇西北玉龙雪山沿海拔梯度森林群落构建和转换机制研究[D]. 昆明:云南大学,2016.

The Distribution Patterns of Plant Communities and Their Relationship with Environmental Factors in Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County

TAN Yong^{1,2}, LIN Chunhui^{1,2}, GU Huiyi¹, CHEN Hongfeng¹, YI Qifei^{1,2* * *}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong, 510650, China; 2. College of Agriculture & Biology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong, 510225, China)

Abstract: A comprehensive exploration of the distribution patterns of plant communities in natural reserves and their relationship with environmental factors is of significant importance in understanding the mechanisms supporting biodiversity. This study utilized 16 400 m² sample plots within the Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County as the fundamental research units. It employed field survey data of species and incorpo-

rated environmental factors. Hierarchical clustering analysis and redundancy analysis were conducted to classify the sample plots and elucidate the relationship between communities and environmental factors. The findings are as follows: Within the 6 400 m² sample plots, a total of 406 vascular plant species were recorded, encompassing 101 families and 228 genera; Hierarchical clustering analysis grouped the 16 sample plots into 5 clusters; The redundancy analysis revealed that environmental factors accounted for 46.07% of the variance in cluster distribution; Specifically, elevation, mean annual temperature, and mean annual precipitation exhibited significant correlations ($P < 0.01$) with the community distribution pattern, with elevation notably influencing cluster distribution; However, terrain, slope, aspect, and organic matter depth showed non-significant correlations ($P > 0.05$) with community distribution patterns; Among the 5 clusters, Cluster I (*Machilus chekiangensis*-*Itea chinensis*-*Woodwardia japonica*) exhibited the highest Shannon-Wiener index, Simpson index, and Pielou index. The results of this study demonstrate that the distribution pattern of plant communities in Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County is primarily influenced by elevation, while climate factors are key determinants affecting species diversity.

Key words: community; environmental factors; distribution pattern; correlation analysis; Jiangjundong Nature Reserve, Shixing County

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxkx@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>