



汪志培, 卢建, 何耀理, 等. 江西齐云山伯乐树群落乔木层优势物种生态位与种间联结研究[J]. 江西农业大学学报, 2023, 45(6): 1431–1442.

WANG Z P, LU J, HE Y L, et al. Study on niche and interspecific association of dominant species in arbor layer of *Bretschneidera sinensis* community in Qiyunshan Mountain of Jiangxi Province[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2023, 45(6): 1431–1442.

江西齐云山伯乐树群落乔木层优势物种 生态位与种间联结研究

汪志培¹, 卢建², 何耀理², 于换喜³, 廖婷¹,
解婷婷¹, 宋庆妮¹, 杨清培¹, 刘骏^{1*}

(1. 江西农业大学 江西省竹子种质资源与利用重点实验室, 江西 南昌 330045; 2. 江西齐云山国家级自然保护区管理局, 江西 赣州 341300; 3. 生态环境部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要:【目的】探究江西齐云山国家级自然保护区伯乐树(*Bretschneidera sinensis*)群落乔木层优势物种生态位与种间联结特征, 为伯乐树种群的监测与保护提供科学依据。【方法】根据前期踏查的基础, 在江西齐云山国家级自然保护区内建立 15 个 40 m×40 m 的伯乐树群落固定样地, 采用生态位宽度、生态位重叠指数和生态位相似性系数研究伯乐树群落乔木层优势物种的生态位特征, 并运用方差比率法、 χ^2 检验、联结系数、共同出现百分率进行种间联结性分析。【结果】(1) 伯乐树在群落中的重要值为 2.47%, 在乔木层排第 9 位, 但生态位宽度最大, Levins 指数和 Smith 指数分别为 0.918、0.971; 在与伯乐树关联的 14 个种对中, 红楠(*Machilus thunbergii*)、深山含笑(*Michelia maudiae*)和鹿角杜鹃(*Rhododendron latoucheae*)等 9 个物种与伯乐树的生态位重叠值大于 0.5, 占与伯乐树关联对数的 64.29%; 红楠、深山含笑和黄丹木姜子(*Litsea elongata*)等 7 个物种与伯乐树的生态位相似性大于 0.5, 占与伯乐树关联对数的 50.00%。(2) 伯乐树群落乔木层优势树种的联结性总体表现为显著正联结($P<0.05$), 正负联结比为 3.04, 但伯乐树与主要树种之间联结性不显著。(3) 联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)与生态位重叠指数之间呈极显著正相关($P<0.001$), 生态位重叠指数越高, 正联结性越强。【结论】江西齐云山国家级自然保护区内伯乐树群落较为成熟, 群落整体处于演替后期, 种间关系稳定, 伯乐树在群落中的生态位高, 并且与其他物种之间保持较高的独立性。建议加强对保护区内伯乐树群落现有生境的保护, 同时跟进对伯乐树群落的长期跟踪监测工作。

关键词: 伯乐树; 珍稀濒危植物; 生态位; 种间联结; 江西齐云山

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1000-2286(2023)06-1431-12



收稿日期: 2023-07-28 修回日期: 2023-09-30

基金项目: 江西省“千人计划”引进类创新领军人才长期青年项目(jxsq2020101079)和中央财政林业国家级自然保护区补助资金项目(2022)

Project supported by the Jiangxi “Double Thousand Plan” (jxsq2020101079) and National Nature Reserve Subsidy Program of Ministry of Finance and State Forestry Administration (2022)

作者简介: 汪志培, 硕士生, orcid.org/0009-0007-3249-5625, 863103096@qq.com; *通信作者: 刘骏, 副教授, 博士, 主要从事森林生态学研究, orcid.org/0000-0001-9311-1874, ljaim99@163.com。

Study on Niche and Interspecific Association of Dominant Species in Arbor Layer of *Bretschneidera sinensis* Community in Qiyunshan Mountain of Jiangxi Province

WANG Zhipei¹, LU Jian², HE Yaoli², YU Huanxi³, LIAO Ting¹,
XIE Tingting¹, SONG Qingni¹, YANG Qingpei¹, LIU Jun^{1*}

(1.Jiangxi Provincial Key Laboratory for Bamboo Germplasm Resource and Utilization, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2.Jiangxi Qiyunshan National Nature Reserve Administration, Ganzhou 341300, China; 3.Nanjing Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China)

Abstract: [Objective] This study aims to explore the niche and interspecific association characteristics of dominant species in the arbor layer of *Bretschneidera sinensis* community in Qiyunshan National Nature Reserve of Jiangxi Province, thus providing scientific basis for the monitoring and protection of *B. sinensis*. [Method] Based on the previous investigation, 15 fixed plots of 40 m × 40 m *B. sinensis* community were established in Qiyunshan National Nature Reserve of Jiangxi Province. The niche breadth, niche overlap index and niche similarity coefficient were used to study the niche characteristics of dominant species in the arbor layer of the community. The variance ratio method, χ^2 test, association coefficient and co-occurrence percentage were used to analyze the interspecific association. [Result] (1) The important value of *B. sinensis* in the community was 2.47 %, ranking ninth in the tree layer. Its niche breadth was the largest, with Levins index and Smith index of 0.918 and 0.971, respectively. Among the 14 species pairs associated with *B. sinensis*, the niche overlap values of *Machilus thunbergii*, *Michelia maudiae*, *Rhododendron latoucheae* and other 9 species with *B. sinensis* were higher than 0.5, accounting for 64.29 % of the logarithm associated with *B. sinensis*; the niche similarity between seven species such as *Machilus thunbergii*, *Michelia maudiae* and *Litsea elongata* and *B. sinensis* was higher than 0.5, accounting for 50.00 % of the logarithm of association with *B. sinensis*. (2) The overall association of the dominant tree species in the arbor layer of the *B. sinensis* community was significantly positive ($P < 0.05$), the positive and negative association ratio was 3.04, the association between the *B. sinensis* and the main tree species was not significant. (3) There was a significant positive correlation between the association coefficient (AC), the percentage of co-occurrence (PC) and the niche overlap index ($P < 0.001$). The higher the niche overlap index, the stronger the positive association. [Conclusion] In summary, the community of *B. sinensis* in Qiyunshan National Nature Reserve of Jiangxi Province is relatively mature. The community is in the late stage of succession, and the interspecific relationship is stable. The niche of *B. sinensis* in the community is high, and it maintains a high degree of independence from other species. It is recommended to strengthen the protection of the existing habitats of the *B. sinensis* community in the reserve, and to follow up the long-term tracking and monitoring of the *B. sinensis* community.

Keywords: *Bretschneidera sinensis*; rare and endangered plants; ecological niche; interspecific association; Qiyunshan Mountain of Jiangxi Province

【研究意义】伯乐树(*Bretschneidera sinensis*)为伯乐树科伯乐树属的单科单属物种,是第三纪古热带植物区系的中国特有孑遗物种,其花大而美丽,极具观赏价值,被誉为“植物中的龙凤”。由于长期以来伯乐树生存环境遭到破坏、母树资源少、花粉和种子传播效率低等原因^[1],种群面临濒危的境地,被列为国家Ⅱ级重点保护野生植物,并列入中国物种红色名录。生态位与种间联结一直是种群生态学研究的核心问题之一。其中,生态位是指物种在群落中占据时间和空间上的位置,是物种在群落中所处地位和

重要性的体现方式^[2]。种间联结是指不同物种之间在空间分布上的关联性,是对特定时间范围内物种间关系的静态描述^[3]。生态位与种间联结是物种与环境、物种与物种之间长期相互适应的结果,对濒危植物群落结构和功能、物种间的相互关系和保护等方面有着重要意义^[4]。【前人研究进展】近年来,关于生态位与种间联结的研究主要集中于不同类型^[5]、不同群落层次^[6]、不同生境^[7]等方面,但一些保护物种的相关研究仍相对薄弱,相关研究还有待持续深入^[8]。目前关于伯乐树的研究主要集中在致濒机理^[9]、繁殖技术^[10]、基因组^[11]等方面。关于伯乐树群落方面,部分学者进行了相关研究,如俞筱桢等^[12]、刘菊莲等^[13]对伯乐树群落特征进行了研究,结果表明伯乐树在群落中属于衰退种群。王美娜等^[14]对广东南昆山与大岭山子遗植物伯乐树进行群落特征比较与谱系地理学研究,结果表明南昆山伯乐树种群相对表现出更强的生活力,种群起源可能更为古老。【本研究切入点】以上研究对认识伯乐树种群特征具有重要意义,但关于伯乐树群落内部各物种之间的关系如何却鲜有研究,这严重阻碍了人们开展对伯乐树所处群落的深入研究和相关保护工作。通过研究植物所处群落的生态位特征和种间关系,可以揭示植物生存现状和群落演替阶段^[15],有助于加强对伯乐树濒危机制的认识^[16],可为其保护措施的制定提供科学依据。【拟解决的关键问题】本研究采用典型取样法,在江西齐云山国家级自然保护区伯乐树分布的区域建立15个40 m×40 m伯乐树群落固定样地。以期探明以下几个科学问题:(1)江西齐云山伯乐树群落乔木层优势物种的生态位特征如何?(2)江西齐云山伯乐树群落乔木层优势物种的种间联结特征如何?(3)江西齐云山伯乐树群落乔木层优势物种的生态位重叠和种间联结之间有何联系?这些科学问题的合理解答,可以揭示该区域伯乐树群落乔木层优势物种的种间关系、环境资源的利用情况和演替进程等,为伯乐树濒危机制、就地保护及迁地保护研究提供科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

江西齐云山国家级自然保护区位于江西省赣州市崇义县西北部(25°41′47.00″~25°54′21.00″N, 113°54′37.00″~114°07′34.00″E),坐落于罗霄山脉与南岭山脉交汇的诸广山脉腹地,保护区总面积17 105.0 hm²。保护区内海拔最高为2 061.3 m,最低点香炉坝海拔仅为300.0 m,相对高差达1 761.3 m^[17]。保护区属中亚热带山地湿润季风气候,四季分明,地理条件独特,孕育了极其丰富的植被类型^[18],保存有数量众多的珍稀植物,如伯乐树等,因此有着“江西植物博物馆”的美誉^[19]。

1.2 样地设置与调查

2022年6—9月,经过前期的实地踏查了解植被状况,考虑到伯乐树数量稀少且在保护区内呈零星分布,采用典型抽样法,根据伯乐树所在群落的类型、结构和生境特点,每块样地以伯乐树生长的位置为中心,共设置15个40 m×40 m的样地,总面积24 000 m²。参照方精云等^[20]植物群落的调查方法,记录小地名、海拔、坡度、坡位等样方基本信息。对样方内所有胸径(DBH)≥5.0 cm的木本植物进行每木检尺,并记录物种名称、胸径、树高、植株位置等数据。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 重要值及生态位宽度计算 IV(Important value 重要值)是一个综合性的数量指标,可以反映种群数量、频度、优势度在其群落中的相对位置,能有效反映种群的生存状况及其对资源的综合利用能力,某物种重要值越高说明其在群落中的地位越显著^[21]。计算公式如下:

$$IV = \frac{(RA + RF + RS)}{3} \quad (1)$$

式(1)中RA(Relative abundance 相对多度):某个树种在样地内的总株数与样地内所有树种的总株数的占比;RF(Relative frequency 相对频度):某个树种在样地内出现的总次数与样地内所有调查物种出现的总次数的占比,可反映物种分布的均匀度;RS(Relative significance 相对显著度):某物种在样地的胸高断面面积总和与样地内所有种的胸高断面面积之和的占比。本研究将各样方看作1个资源位,把15个优势种的重要值作为资源利用效率的指标。

生态位宽度 Levins 指数为:

表1 伯乐树群落样地概况

Tab.1 Sample plot overview of *Bretschneidera sinensis* community

样地编号 Plot code	经度/E Longitude	纬度/N Latitude	海拔/m Elevation	坡度/(°) Gradient	坡向 Aspect	坡位 Slope position	郁闭度 Crown density	岩石裸露率/% Rock exposure rate
1	114°01'18.05"	25°52'17.14"	1 070	40	东北	下坡位	0.8	60
2	114°02'34.67"	25°53'26.64"	1 234	30	西南	下坡位	0.7	50
3	114°01'22.61"	25°51'37.20"	1 135	45	东	下坡位	0.7	60
4	114°01'12.64"	25°51'19.51"	1 117	40	东南	下坡位	0.6	90
5	114°00'50.26"	25°52'16.88"	1 165	30	北	下坡位	0.7	60
6	114°01'51.62"	25°52'55.35"	1 223	30	北	下坡位	0.7	50
7	114°03'05.55"	25°49'56.45"	1 053	50	北	下坡位	0.6	50
8	113°59'57.60"	25°48'28.73"	1 050	50	北	下坡位	0.7	30
9	113°59'43.17"	25°49'05.13"	1 040	40	北	下坡位	0.7	30
10	113°58'21.38"	25°49'40.07"	1 196	30	北	下坡位	0.7	40
11	114°02'24.35"	25°51'43.39"	960	40	西	下坡位	0.7	60
12	114°03'04.02"	25°52'02.59"	1 082	40	北	下坡位	0.8	30
13	114°02'42.12"	25°51'57.30"	1 077	40	北	下坡位	0.8	40
14	114°02'36.86"	25°53'12.93"	1 080	40	北	下坡位	0.7	80
15	114°01'50.47"	25°51'29.68"	1 012	40	北	下坡位	0.7	70

$$B_i = 1 / \sum_{j=1}^r (P_{ij})^2 \quad (2)$$

式(2)中, B_i 为种 i 的生态位宽度; P_{ij} 代表种 i 在资源位 j 上的重要值。再将 Levins 指数标准化为 $B_A = (B_i - 1) / (r - 1)$, 取值范围: $[0, 1]$ 。

生态位宽度 Smith 指数为:

$$B_i = \sum \sqrt{P_{ij} a_j} \quad (3)$$

式(3)中, a_j 是第 j 个资源状态下资源量占总资源的比例。这一指数允许考虑资源的可利用性, 可对资源量准确量化。

1.3.2 生态位重叠计算 生态位重叠计算采用 Pianka 指数:

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj} / \sqrt{\left(\sum_{j=1}^r P_{ij} \right)^2 \left(\sum_{j=1}^r P_{kj} \right)^2} \quad (4)$$

式(4)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。当种 i 和种 k 在所有资源状态中的分布完全相同时, O_{ik} 最大, 其值为 1, 表明种 i 与种 k 完全重叠。相反, 当两个种不具有共同资源状态时, 它们的生态位完全不重叠, O_{ik} 为 0。 P_{kj} 代表物种 k 在资源位 j 上的重要值。

1.3.3 生态位相似性计算 生态位相似性 Schoener 指数:

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

式(5)中, C_{ik} 为物种 i 和 k 的生态位相似性系数, 取值范围为 $[0, 1]$, 值越大表示生态位相似性程度越高。

1.3.4 总体联结性计算 采用 Schluter^[22] 的方差比率 (VR) 检验方法对植物群落总体联结性进行检验, 并检验相关系数的显著性:

$$VR = S_T^2 / \delta_T^2 \quad (6)$$

其中,

$$S_T^2 = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{j=1}^N (T_j - t)^2 \quad \delta_T^2 = \sum_{i=1}^S P_i (1 - P_i) \quad (7)$$

式(7)中, S_r^2 为总种数方差, δ_r^2 为总体样本方差, S 为物种总数, N 为样方总数, P_i 为物种出现的频度, $P_i = n_i/N$ 。 T_j 为 j 样方中的物种数, n 为 i 物种的样方数, t 为所有样方中的平均物种数。在独立性检验下, $VR=1$ 时, 种间总体无关联; 当 $VR>1$ 时, 种间总体呈正关联; 当 $VR<1$ 时, 种间总体呈负关联。由于物种间正负联结可以相互抵消, 使用统计量 W 进一步检验 VR 与 1 的偏离程度, $W = VR \times N$ 。 W 服从 χ^2 分布 ($df=N-1$), 若关联性不显著 ($P>0.05$), 则 W 落入 $\chi^2_{0.95(N)} < W < \chi^2_{0.05(N)}$ 临界值区间内, 若关联性显著 ($P<0.05$), 则 W 在临界值区间外。

1.3.5 种对间联结性计算 利用卡方检验(χ^2)、联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)计算群落内优势种的种间联结^[23-24]:

$$\chi^2 = \frac{N[(|ad - bc|) - (1/2)N]^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)} \quad (8)$$

$$AC = \frac{ad - bc}{(a+b)(b+d)} (ab > bc) \quad (9)$$

$$AC = \frac{ad - bc}{(a+b)(a+c)} (ab \leq bc, d \geq a) \quad (10)$$

$$AC = \frac{ad - bc}{(d+b)(d+c)} (ad \leq bc, d \leq a) \quad (11)$$

$$PC = \frac{a}{a+b+c} \quad (12)$$

式中 N 为样方数, 通过建立种对间 2×2 列联表, 统计 a, b, c, d 的值。其中 a 为 A、B 两物种在同一样方的样方数, b 为 B 物种存在而 A 物种不存在的样方数, c 为 A 物种存在而 B 物种不存在的样方数, d 为 A、B 两物种都不存在的样方数。当 $ad > bc$ 时, 种对间为正联结; 当 $ad < bc$ 时, 种对间为负联结。当 $\chi^2 < 3.841$ 时, 种对间不存在联结性; 当 $3.841 < \chi^2 < 6.635$ 时, 种对间存在联结性; 当 $\chi^2 > 6.635$ 时, 种对间为显著联结。

1.3.6 数据统计与分析 根据 15×15 的物种-样地二元数据矩阵计算伯乐树群落重要值前 15 树种的总体联结性。重要值前 15 的树种的重要值之和大于 50%, 决定着群落的演替方向, 可以很好的代表整个群落。通过 Excel 2016 对样地数据进行预处理, 采用 Matlab R2021a 软件对生态位和联结性进行计算分析, 并用 Excel 2016 软件进行制图。对植株统计分析时都包括分枝在内。

2 结果与分析

2.1 伯乐树群落生态位特征

2.1.1 重要值及生态位宽度特征 调查的 15 个伯乐树群落样地中, 从重要值来看, 伯乐树群落中红楠的重要值最高, 其次为深山含笑和鹿角杜鹃, 这些物种是群落中的主要优势树种, 而伯乐树在群落中的重要值并不高, 仅为 2.47%, 说明伯乐树在所处群落中并不占据主导地位(表 2)。而从生态位宽度来看, 群落中伯乐树的生态位宽度最大, Levins 指数和 Smith 指数分别为 0.918、0.971, 其次为红楠和深山含笑, 生态位宽度指数均在 0.9 以上, 说明伯乐树、红楠和深山含笑对研究区的生境具有很强的适应性。

2.1.2 生态位重叠特征 伯乐树群落乔木层 15 个优势树种间的生态位重叠如表 3 所示。在 105 个种对中, 生态位重叠值大于 0.5 的共 49 对, 占总对数的 46.67%, 表明这些种对的两个物种生态习性相似程度较高。生态位重叠值在 0.8 以上的有 3 对, 且这些种对的组成物种生态位大部分较宽, 其中, 红楠-伯乐树生态位重叠度最大(0.926), 二者均喜温暖湿润气候, 生境分布相似。生态位重叠值小于 0.2 的有 13 对, 表明这些种对的生境选择差异很大, 如交让木(*Daphniphyllum macropodum*)-美叶柯(*Lithocarpus calophyllus*)(0.048)。整体上, 生态位重叠均值为 0.469, 重叠度高的种对较多, 意味着伯乐树群落乔木层优势树种间的生态位分化程度较低。但与伯乐树关联的 14 个种对中, 红楠、深山含笑、鹿角杜鹃等 9 个物种与伯乐树生态位重叠值大于 0.5, 占总种对的 64.29%, 表明这些物种与伯乐树之间的环境资源竞争可能较为激烈。

表 2 伯乐树群落乔木层优势物种重要值及生态位宽度
Tab.2 Important value and niche breadth of dominant species in arbor
layer of *Bretschneidera sinensis* community

排名 Ranking	物种 Species	缩写	重要值/% Importance value	生态位宽度 Niche breadth	
		Abbreviation		Levins 指数 Levins index	Smith 指数 Smith index
1	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	Mt	13.26	0.914	0.958
2	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	Mm	7.58	0.909	0.907
3	鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	Rl	4.27	0.858	0.877
4	拟赤杨 <i>Alniphyllum fortunei</i>	Af	3.15	0.718	0.667
5	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	Ro	2.94	0.885	0.886
6	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	Ce	2.81	0.853	0.814
7	黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>	Le	2.81	0.841	0.794
8	银木荷 <i>Schima argentea</i>	Sa	2.50	0.849	0.711
9	伯乐树 <i>Bretschneidera sinensis</i>	Bs	2.47	0.918	0.971
10	交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	Dm	2.24	0.652	0.593
11	香港四照花 <i>Cornus hongkongensis</i>	Ch	2.16	0.862	0.851
12	美叶柯 <i>Lithocarpus calophyllus</i>	Lc	1.84	0.846	0.783
13	细枝桉 <i>Eurya loquaiana</i>	El	1.73	0.875	0.855
14	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	Ts	1.61	0.843	0.760
15	蓝果树 <i>Nyssa sinensis</i>	Ns	1.48	0.870	0.815

表 3 伯乐树群落乔木层优势物种生态位重叠指数
Tab.3 Niche overlap index of dominant species in arbor layer of *Bretschneidera sinensis* community

树种 Species	Mt	Mm	Rl	Af	Le	Sa	Ce	Dm	Ro	Bs	Ch	Lc	Ns	El
Mm	0.659													
Rl	0.580	0.421												
Af	0.239	0.515	0.400											
Le	0.564	0.717	0.235	0.133										
Sa	0.411	0.586	0.533	0.575	0.143									
Ce	0.404	0.571	0.522	0.170	0.479	0.633								
Dm	0.488	0.105	0.492	0.157	0.097	0.289	0.123							
Ro	0.614	0.639	0.498	0.275	0.482	0.611	0.586	0.117						
Bs	0.926	0.663	0.597	0.339	0.593	0.472	0.483	0.456	0.731					
Ch	0.676	0.449	0.835	0.509	0.237	0.356	0.174	0.499	0.550	0.708				
Lc	0.526	0.719	0.425	0.410	0.429	0.672	0.543	0.048	0.462	0.372	0.288			
Ns	0.606	0.751	0.416	0.356	0.437	0.607	0.530	0.165	0.432	0.511	0.354	0.839		
El	0.770	0.691	0.418	0.319	0.445	0.473	0.351	0.081	0.558	0.667	0.511	0.664	0.634	
Ts	0.547	0.576	0.340	0.186	0.641	0.454	0.595	0.371	0.364	0.601	0.212	0.461	0.737	0.350

2.1.3 生态位相似性 伯乐树群落乔木层 15 个优势树种间的生态位相似性系数如表 4 所示。105 个种对中,生态位相似性比例高($0.5 \leq C_{ik} < 1$)的种对有 36 对,占总对数的 34.29%;生态位相似性比例低的种对($0 \leq C_{ik} < 0.5$)有 69 对,占中对数的 65.71%,所有物种种对之间相似性平均值为 0.436,表明大部分种对生态位相似程度低,对环境资源的要求存在差异,物种间竞争程度也相对较低。伯乐树与其他物种形成的 14 个种对中,生态位相似性比例高($0.5 \leq C_{ik} < 1$)的种对有 7 对,占伯乐树总对数的 50%,相似性平均值为 0.489,大于总体相似性平均值,表明伯乐树与群落中绝大部分的物种之间生态位相似性高,对环境资源的利用相似。

表 4 伯乐树群落乔木层优势物种生态位相似性系数

Tab.4 Niche similarity coefficient of dominant species in arbor layer of *Bretschneidera sinensis* community

树种 Species	<i>Mt</i>	<i>Mm</i>	<i>Rl</i>	<i>Af</i>	<i>Le</i>	<i>Sa</i>	<i>Ce</i>	<i>Dm</i>	<i>Ro</i>	<i>Bs</i>	<i>Ch</i>	<i>Lc</i>	<i>Ns</i>	<i>El</i>
<i>Mm</i>	0.619													
<i>Rl</i>	0.481	0.461												
<i>Af</i>	0.273	0.436	0.393											
<i>Le</i>	0.511	0.567	0.308	0.190										
<i>Sa</i>	0.388	0.506	0.533	0.471	0.215									
<i>Ce</i>	0.437	0.548	0.502	0.279	0.438	0.494								
<i>Dm</i>	0.322	0.183	0.467	0.154	0.114	0.256	0.158							
<i>Ro</i>	0.549	0.533	0.509	0.313	0.411	0.457	0.473	0.141						
<i>Bs</i>	0.834	0.606	0.483	0.303	0.520	0.417	0.428	0.319	0.628					
<i>Ch</i>	0.578	0.468	0.663	0.382	0.307	0.384	0.291	0.471	0.546	0.609				
<i>Lc</i>	0.501	0.664	0.469	0.381	0.419	0.512	0.539	0.136	0.474	0.463	0.369			
<i>Ns</i>	0.510	0.654	0.488	0.306	0.381	0.512	0.528	0.215	0.404	0.514	0.377	0.679		
<i>El</i>	0.641	0.636	0.435	0.337	0.438	0.451	0.390	0.165	0.452	0.587	0.500	0.535	0.500	
<i>Ts</i>	0.483	0.480	0.414	0.230	0.445	0.417	0.522	0.268	0.427	0.495	0.266	0.477	0.612	0.320

2.2 伯乐树群落主要树种种间关系

由表 5 可知,伯乐树群落总体联结性方差比率 $VR=1.81>1$,表明 15 个主要物种之间总体表现为净的正联结。统计量 $W=435.11$, $\chi^2_{0.95(15)}=278.21$, $\chi^2_{0.05(15)}=206.06$,不在 $\chi^2_{0.95(15)}<W<\chi^2_{0.05(15)}$ 临界值区间内,表明伯乐树群落优势物种间总体呈显著正联结($P<0.05$),即伯乐树群落乔木层优势物种总体上联结性强。

表 5 伯乐树群落乔木层优势物种总体联结性

Tab.5 Overall association of dominant species in arbor layer of *Bretschneidera sinensis* community

方差比率	检验统计量	χ^2 临界值 $\chi^2_{critical\ value}$		测定结果
Variance ratio/VR	Test statistics/W	$\chi^2_{0.95(15)}$	$\chi^2_{0.05(15)}$	Result
1.81	435.11	206.06	278.21	显著正联结

在进行种对间联结性分析时,运用 χ^2 检验可以比较客观准确地判断种对联结的显著性。由图 1 可知,在 105 个种对中,87 对联结性不显著,呈显著相关的有 18 对,占总对数的 17.14%,其中 17 对呈显著正相关,1 对呈显著负相关,正负联结比为 17:1,表明种对间正联结占据绝对优势。在所有种对中,82.86% 的种对间联结性不显著,表明伯乐树群落乔木层优势物种间联结性松散,种对间的生物学特性差异较大、独立性较强。群落中正联结多于负联结,表明群落处于稳定的状态,这与总体联结性分析结果相一致。此外,根据 χ^2 检验的结果显示,伯乐树种群与主要树种之间不存在显著联结性,表明伯乐树种群独立性较强。

χ^2 检验只能定性判断物种之间是否存在显著相关,不能确定种对之间相关强度的大小,还需要通过联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)对相关测度进行补充说明,二者是对种间相关显著性和相关强度在两个方面的不同解释。联结系数(AC)结果显示(图 2a),种对之间呈正联结和负联结的分别有 79、26 对,正负联结比为 3.04,表明群落中正联结占据绝对优势地位,这与 χ^2 检验的结果相一致。根据伯乐树群落主要种群共同出现百分率(PC)半矩阵图可知(图 2b),PC 值均在 $0\leq PC<0.4$,群落各物种之间的趋同性低,表明群落各物种之间独立性高。

2.3 种间联结系数与生态位重叠指数的回归分析

伯乐树群落乔木层优势物种间的联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)与生态位重叠指数之间的拟合效果一般(图 3), R^2 分别为 0.309 5 和 0.274 4,但均呈极显著正相关($P<0.001$),即种间生态位重叠度越高,正联结性越强;反之,生态位重叠度越低,负联结性就越强。

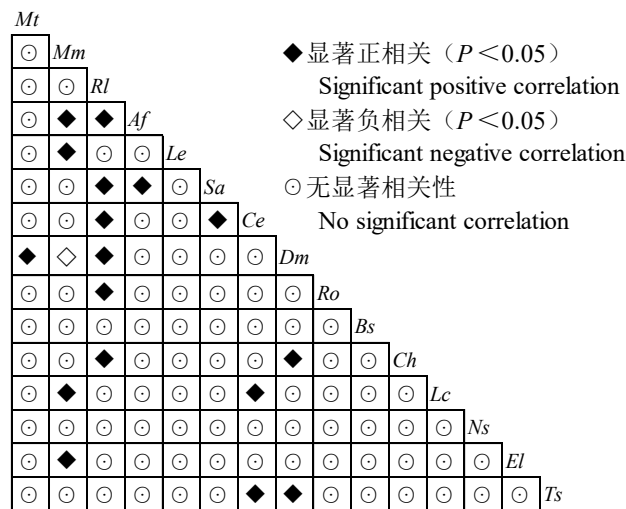


图 1 伯乐树群落乔木层优势物种 χ^2 检验显著种对半矩阵分析

Fig.1 Dominant species of arbor layer in *Bretschneidera sinensis* community χ^2 Test significant species pair semi-matrix diagram

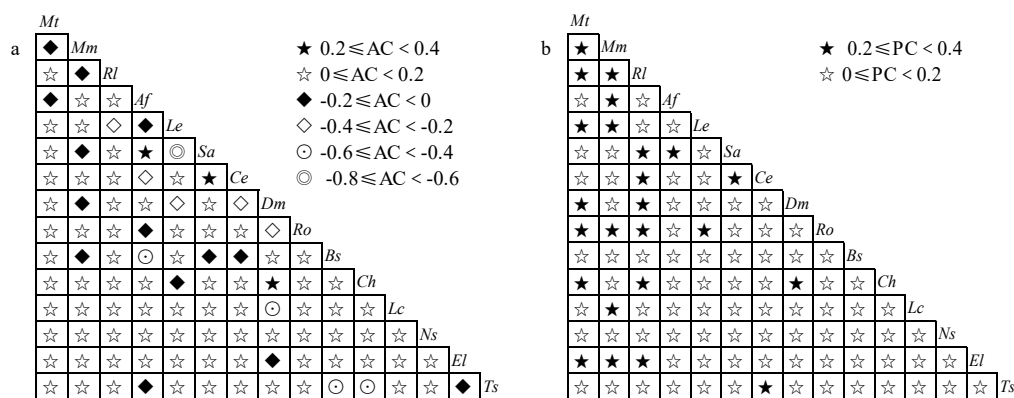


图 2 伯乐树群落乔木层优势物种种间联结 AC、PC 半矩阵分析

Fig.2 AC and PC semi-matrix diagram of interspecific association of dominant species in arbor layer of *Bretschneidera sinensis* community

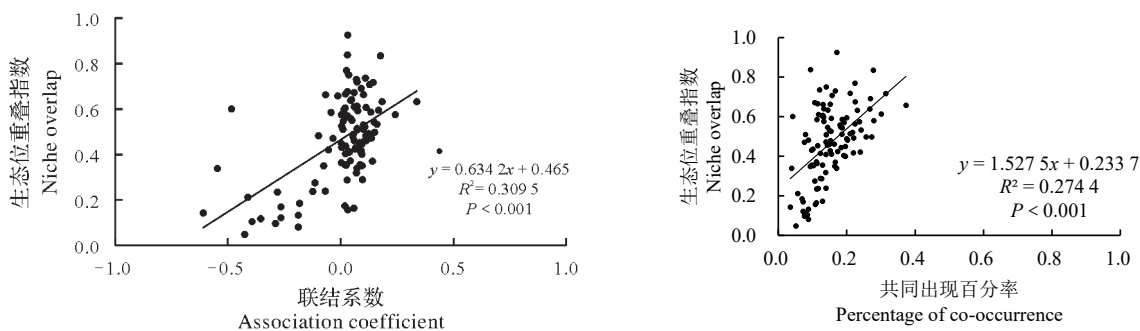


图 3 伯乐树群落乔木层优势物种种间联结系数与生态位重叠指数的回归分析

Fig.3 Regression analysis of interspecific association coefficient and niche overlap index of dominant species in arbor layer of *Bretschneidera sinensis* community

3 讨 论

3.1 生态位特征

生态位宽度可以反映物种对资源的利用能力和生态适应性,并能揭示各种群在群落中的功能地位^[25-26]。本研究中,伯乐树群落的生态位宽度和重要值大小的排序结果并非完全一致。部分物种重要值较大而生态位宽度却较小,如拟赤杨的重要值和 Levins 指数分别为 3.15 和 0.718,而蓝果树(*Nyssa sinen-*

sis)的重要值和Levins指数分别为1.48和0.870,这是因为物种的分布频度也会影响生态位宽度^[27]。本研究中,伯乐树的生态位宽度较大,在研究区内的分布较为均匀,相关研究表明,伯乐树为中性偏阳性树种,喜暖、喜湿,多散生于湿润沟谷、溪旁坡地^[1],说明伯乐树在该环境下具有较强的适应能力,因此在该环境条件下表现为泛化种的优势特征。但伯乐树属于极小种群的濒危植物,相关研究表明,濒危植物虽然在特定环境条件下在群落中占据优势地位,但种群结构并不稳定,极小种群的濒危植物通常面临着更新困难的窘境^[28],说明在调查区域特定的环境条件下,齐云山伯乐树种群的生态位宽度大小与其濒危原因之间没有必然联系。

生态位重叠和生态位相似性结合可以很好的衡量种间资源的竞争程度^[29]。本研究中,齐云山伯乐树群落乔木层优势物种之间的生态位重叠程度和生态位相似性低,表明齐云山伯乐树群落乔木层优势物种对环境资源的利用相似度低,物种间竞争缓和,种间关系稳定。而伯乐树群落中生态位宽度大的物种之间其生态位重叠值通常也高,这是因为生态位宽度大的物种,其资源的获取能力更强,在群落中分布的更广,因此与其他物种的重叠程度也就越大^[15,30]。

3.2 总体联结性与种间联结性

总体联结性可以反映群落演替的进程及其稳定性^[31],并且种间联结性能反映一定时期内群落中物种间的相互关系。相关研究表明,群落在正向演替时,物种间通过竞争与合作达到环境资源利用的最大化,群落内物种组成逐渐固定,结构更加稳定,最终发展为顶级群落,共存物种间总体趋向于正关联或无关联^[32]。并且,在生长环境及竞争一致的条件下,具有相同或相似生态习性的物种往往共同出现在同一群落中,其种间联结性一般表现为显著的正相关,种对常表现为互利、互补的关系^[33];而不同生态习性的物种具有不同的生态位,其种间联结性一般表现显著负相关,种对常表现为排斥、竞争的关系^[4,34]。本研究中,伯乐树群落乔木层优势树种间总体呈正关联,15个优势种 χ^2 检验的105个种对中,18对存在显著关联性,其中17对表现为正关联,仅1对表现为负关联,说明伯乐树群落乔木层种对主要表现为互利、互补的关系,而乔木层是植物群落的优势层,主导着群落的发展方向^[4],可推断伯乐树群落正处于相对稳定的演替后期阶段。

χ^2 检验揭示了种间关联的显著性,而联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)可以较为全面地显示种间关联性的强弱,二者是对种间关联显著性和关联强度在两个方面的不同解释^[23],因此对伯乐树群落的种间相关性分析以 χ^2 检验为研究基础,再结合AC值和PC值检验结果的补充,可以更加科学合理地分析伯乐树群落乔木层优势种的种间相关性关系。 χ^2 检验表明,伯乐树种群与其他种群之间的联结关系没有达到显著性水平,并且从联结系数(AC)值和共同出现百分率(PC)值来看,伯乐树与其他乔木层优势物种之间联结性均不强,种群表现出较强的独立性,独立性越强的树种与其他树种的相互依赖或竞争就越弱^[35],这说明伯乐树与其他乔木层优势物种在群落中相处状态较为和谐。

3.3 生态位重叠与种间联结的关系

种间联结是群落中不同物种在空间分布的联结性,这种联结客观有效地阐明了物种间相互依存和相互制约的复杂关系^[36]。生态位重叠在一定程度上可以揭示种间联结的内在机制,种对间联结强度与其生态位重叠指数之间普遍存在正相关关系^[34,37],本研究结果显示二者呈显著正相关也论证了这一点。如深山含笑-黄丹木姜子、鹿角杜鹃-香港四照花、深山含笑-美叶柯等的联结系数(AC)、共同出现百分率(PC)值相对较大,种对呈显著正联结,生态位重叠值也较大。物种间的竞争强度是否与相关程度成正比,这取决于生境中的资源状况^[38]。伯乐树群落处于演替的后期,物种之间的资源竞争已经达到较为缓和的关系,并且伯乐树种群在群落中也相对独立,与其他树种之间关联性不显著。因此,伯乐树濒危的主要原因并不是因为与周围树种之间的资源竞争所导致,加强对伯乐树群落现有生境的保护力度对伯乐树种群的保护更加有利。

4 结 论

伯乐树作为我国国家Ⅱ级重点保护野生植物,研究其所在群落的生态位与种间关系,可揭示伯乐树群落乔木层优势物种之间的种间关系、资源利用状况以及群落演替进程,为江西齐云山国家级自然保护区内伯乐树资源的保护提供了理论和实践基础。生态位特征分析表明,在特定的环境条件下,生态位宽

度和生态位重叠的大小并不是伯乐树致濒的主要原因。伯乐树所在群落处于相对稳定的演替后期阶段,伯乐树种群与其他树种之间的关系相对独立,并且生态位重叠与种间联结之间呈极显著正相关。为进一步探究伯乐树致濒机理,未来还需对伯乐树群落进行长期跟踪监测,并进一步展开种群结构、生存力分析和生殖生物学等相关研究。

参考文献 References:

- [1] 乔琦,邢福武,陈红锋,等.中国特有珍稀植物伯乐树的研究进展和科研方向[J].中国野生植物资源,2011,30(3):4-8.
QIAO Q, XING F W, CHEN H F, et al. Research progress and direction in *Bretschneidera sinensis*, a rare endemic plant in China[J]. Chinese wild plant resources, 2011, 30(3):4-8.
- [2] 薛卫星,李春辉,艾训儒,等.鹅掌楸天然林优势树种生态位与种间联结性[J].森林与环境学报,2023,43(1):26-34.
XUE W X, LI C H, AI X R, et al. Niche and interspecific association of dominant tree species in *Liriodendron chinense* natural forest[J]. Journal of forest and environment, 2023, 43(1):26-34.
- [3] 罗敏贤,林碧华,陈绪辉,等.福建龟山伞花木所在群落乔灌木层优势种的种间联结性[J].植物资源与环境学报,2022,31(6):63-72.
LUO M X, LIN B H, CHEN X H, et al. Interspecific associations of dominant species in arbor and shrub layers of *Eurycorymbus cavaleriei* located community in Guishan Mountain of Fujian Province[J]. Journal of plant resources and environment, 2022, 31(6):63-72.
- [4] 刘益鹏,叶兴状,叶利奇,等.观光木群落优势树种生态位和种间联结[J].应用生态学报,2022,33(10):2670-2678.
LIU Y P, YE X Z, YE L Q, et al. Niche and interspecific association of dominant tree species in *Michelia odora* community[J]. Chinese journal of applied ecology, 2022, 33(10):2670-2678.
- [5] 肖艳梅.桂林岩溶石山常绿阔叶混交林优势物种生态位与种间联结研究[D].桂林:广西师范大学,2022.
XIAO Y M. Niche and interspecific association of dominant species of evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest in karst hills of Guilin, Southwestern China[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2022.
- [6] 施晨阳,蒋天雨,赖文峰,等.宁夏六盘山毛榉群落灌木层优势种的生态位和种间联结分析[J].植物资源与环境学报,2022,31(4):85-94.
SHI C Y, JIANG T Y, LAI W F, et al. Analyses on niche and interspecific association of dominant species in shrub layer of *Corylus mandshurica* community in Liupan Mountain of Ningxia[J]. Journal of plant resources and environment, 2022, 31(4):85-94.
- [7] 杜忠毓,邢文黎,薛亮,等.喀斯特石漠化锑矿区植物群落主要物种生态位特征与种间联结[J].生态学报,2023,43(7):2865-2880.
DU Z Y, XING W L, XUE L, et al. Niche characteristics and interspecific association of main plant species in antimony mining sites of karst rocky desertification area, Guizhou, China[J]. Acta ecologica Sinica, 2023, 43(7):2865-2880.
- [8] 刘雨婷,侯满福,贺露炎,等.滇东菌子山喀斯特森林群落乔木优势树种生态位和种间联结[J].应用生态学报,2023,34(7):1771-1778.
LIU Y T, HOU M F, HE L Y, et al. Niche and interspecific association of dominant tree species in karst forest community of Junzi Mountain, Eastern Yunnan, China[J]. Chinese journal of applied ecology, 2023, 34(7):1771-1778.
- [9] 郭祥泉,洪伟,涂年旺,等.应用环境筛与生殖力和种群增长模型研究钟萼木致濒因子[J].林业与生态科学,2022,37(1):87-92.
GUO X Q, HONG W, TU N W, et al. Death causes and conservation strategies of the annual regenerated seedlings of rare plant, *Bretschneidera sinensis*[J]. Forestry and ecological sciences, 2022, 37(1):87-92.
- [10] 李浩铭.不同光照强度和基质对伯乐树幼苗生长及相关生理指标的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2021.
LI H M. Effects of different light intensity and substrate on the growth and related physiological indexes of *Bretschneidera sinensis*[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2021.
- [11] ZHANG H, DU X, DONG C C, et al. Genomes and demographic histories of the endangered *Bretschneidera sinensis* (Akanaceae)[J]. GigaScience, 2022, 11:1-10.
- [12] 俞筱押,田华林,郭治友.贵州南部伯乐树群落特征及其种间关系研究[J].四川农业大学学报,2016,34(1):29-33.
YU X Y, TIAN H L, GUO Z Y. Community characteristics and interspecific relationship of *Bretschneidera sinensis* in south-

- ern Guizhou, China[J]. Journal of Sichuan agricultural university, 2016, 34(1): 29-33.
- [13] 刘菊莲, 周莹莹, 潘建华, 等. 浙江九龙山国家级自然保护区伯乐树群落特征及种群结构分析[J]. 植物资源与环境学报, 2013, 22(3): 95-99.
- LIU J L, ZHOU Y Y, PAN J H, et al. Analyses on community characteristics and population structure of *Bretschneidera sinensis* in Zhejiang Jiulongshan National Natural Reserve[J]. Journal of plant resources and environment, 2013, 22(3): 95-99.
- [14] 王美娜, 乔琦, 张荣京, 等. 广东南昆山与大岭山孑遗植物伯乐树群落特征比较与谱系地理学研究[J]. 广西植物, 2011, 31(6): 789-794.
- WANG M N, QIAO Q, ZHANG R J, et al. Studies on the community feature comparison and phylogeography of relic plant *Bretschneidera sinensis* in Nankun and Daling Mountain, Guangdong Province[J]. Guihaia, 2011, 31(6): 789-794.
- [15] 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.
- WU L D, LI T T, FU G L, et al. Niche and interspecific relationship of the wild plant *Styrax zhejiangensis* with extremely small population[J]. Journal of Zhejiang university (agriculture and life science), 2020, 46(4): 459-474.
- [16] 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.
- YE X Z, WANG M Q, CHENG N, et al. Species composition, niche, and interspecific relationships of *Semiliquidambar cathayensis* natural community in Tiantai Mountain of Fujian Province[J]. Journal of plant resources and environment, 2021, 30(6): 19-28.
- [17] 刘小明, 郭英荣, 刘仁林. 江西齐云山自然保护区综合科学考察集[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010: 89-91.
- LIU X M, GUO Y R, LIU R L. The collection of scientific exploration of Jiangxi Qiyunshan Nature Reserve[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2010: 89-91.
- [18] 宋述望, 罗会潭, 黄萌, 等. 江西齐云山自然保护区植被类型与森林资源特征[J]. 南方林业科学, 2021, 49(5): 34-38.
- SONG S W, LUO H T, HUANG M, et al. The vegetation types and forest resources in Jiangxi Qiyunshan Nature Reserve[J]. South China forestry science, 2021, 49(5): 34-38.
- [19] 黄声亮, 陈齐通, 龚超, 等. 江西齐云山植物群落多样性及蓄积量对海拔梯度的响应[J]. 生物灾害科学, 2023, 46(1): 80-85.
- HUANG S L, CHEN Q T, GONG C, et al. Responses of woody plant species diversity and stock volume to altitude gradients in Qiyunshan[J]. Biological disaster science, 2023, 46(1): 80-85.
- [20] 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.
- FANG J Y, WANG X P, SHEN Z H, et al. Methods and protocols for plant community inventory[J]. Biodiversity science, 2009, 17(6): 533-548.
- [21] CURTIS J T, McIntosh R P. An upland forest continuum in the prairie-forest border region of wisconsin[J]. Ecology, 1951, 32(3): 476-496.
- [22] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications[J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [23] 江常春, 梁希妮, 田磊, 等. 浙江省常绿阔叶林优势树种种间联结分析[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2022, 45(4): 437-445.
- JIANG C C, LIANG X N, TIAN L, et al. Analysis on interspecific association of dominant species in evergreen broad-leaved forests in Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang normal university (natural science), 2022, 45(4): 437-445.
- [24] 张零念, 朱贵青, 杨宽, 等. 滇中云南杨梅灌丛主要木本植物生态位与种间联结[J]. 植物生态学报, 2022, 46(11): 1400-1410.
- ZHANG L N, ZHU G Q, YANG K, et al. Niche and interspecific association of main woody plant species in *Myrica nana* shrub in central Yunnan[J]. Chinese journal of plant ecology, 2022, 46(11): 1400-1410.
- [25] 赵家豪, 叶钰倩, 陈斌, 等. 江西武夷山南方铁杉针阔混交林主要植物生态位特征[J]. 林业科学, 2021, 57(1): 191-199.
- ZHAO J H, YE Y Q, CHEN B, et al. Niche characteristics of dominant plants of coniferous (*Tsuga chinensis* var. *tchekiangensis*) and broad-leaf mixed forest in Jiangxi Wuyishan, China[J]. Scientia silvae sinicae, 2021, 57(1): 191-199.
- [26] ROSAS M Y, PERI L P, LENCINAS V M, et al. Potential biodiversity map of understory plants for Nothofagus forests in southern Patagonia: analyses of landscape, ecological niche and conservation values[J]. Science of the total environment,

- 2019, 682: 301-309.
- [27] 郑秋敏, 张腾, 刘宇飞, 等. 重庆特有极小种群植物缙云秋海棠生态位特征研究[J]. 西北植物学报, 2018, 38(7): 1340-1348.
ZHENG Q M, ZHANG T, LIU Y F, et al. Niche study on a small population *Begonia jinyunensis* of endemic species in Chongqing[J]. Acta botanica boreali-occidentalia Sinica, 2018, 38(7): 1340-1348.
- [28] 曾洪, 陈小红. 极小种群野生植物圆叶玉兰的生态位研究[J]. 四川农业大学学报, 2017, 35(2): 220-226.
ZENG H, CHEN X H. Ecological niche of extremely small population of wild *Oyama sinensis*[J]. Journal of Sichuan agricultural university, 2017, 35(2): 220-226.
- [29] 何忠伟, 胡仁传, 黄日波, 等. 广西银杉林主要树种种群生态位分析[J]. 林业科学研究, 2012, 25(6): 761-766.
HE Z W, HU R C, HUANG R B, et al. Niche of the major tree species populations in *Cathaya argyrophylla* forest in Guangxi[J]. Forest research, 2012, 25(6): 761-766.
- [30] 刘润红, 陈乐, 涂洪润, 等. 桂林岩溶石山青冈群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J]. 生态学报, 2020, 40(6): 2057-2071.
LIU R H, CHEN L, TU H R, et al. Niche and interspecific association of main species in shrub layer of *Cyclobalanopsis glauca* community in karst hills of Guilin, southwest China[J]. Acta ecologica Sinica, 2020, 40(6): 2057-2071.
- [31] 肖集泓, 熊宽洪, 陈越琳, 等. 福建琅岐岛台湾相思群落灌木层主要物种生态位与种间联结[J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(6): 805-815.
XIAO J H, XIONG K H, CHEN Y L, et al. Niche and interspecific association of main species in shrub layer of *Acacia confusa* community in Langqi Island, Fujian Province[J]. Journal of tropical and subtropical botany, 2023, 31(6): 805-815.
- [32] 张明霞, 王得祥, 康冰, 等. 秦岭华山松天然次生林优势种群的种间联结性[J]. 林业科学, 2015, 51(1): 12-21.
ZHANG M X, WANG D X, KANG B, et al. Interspecific associations of dominant plant populations in secondary forest of *Pinus armandii* in Qinling Mountains[J]. Scientia silvae sinicae, 2015, 51(1): 12-21.
- [33] 农友, 郑路, 贾宏炎, 等. 广西大青山南亚热带森林植物群落的种间联结性[J]. 广西植物, 2016, 36(7): 848-858.
NONG Y, ZHEN L, JIA H Y, et al. Interspecific associations between south subtropical forest plant community species in Daqingshan of Guangxi[J]. Guihaia, 2016, 36(7): 848-858.
- [34] 徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 植物种间联结研究内容与方法评述[J]. 生态学报, 2016, 36(24): 8224-8233.
XU M H, LIU M, ZHAI D T, et al. A review of contents and methods used to analyze various aspects of plant interspecific associations[J]. Acta ecologica Sinica, 2016, 36(24): 8224-8233.
- [35] 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.
LI Q L, ZONG X H, DENG H P, et al. Niche and interspecific association of dominant species in tree layer of chishui *Alsophila spinulosa* community[J]. Acta botanica boreali-occidentalia Sinica, 2017, 37(7): 1422-1428.
- [36] 王国庆, 杜广明, 聂莹莹, 等. 围栏封育对呼伦贝尔草原群落种间联结的影响[J]. 中国草地学报, 2017, 39(4): 72-80.
WANG G Q, DU G M, NIE Y Y, et al. Effects of enclosure on community interspecific relationships in Hulunbeir meadow steppe[J]. Chinese journal of grassland, 2017, 39(4): 72-80.
- [37] 张盟, 郑俊鸣, 万佳艺, 等. 福建省东门屿优势木本植物的生态位与种间联结[J]. 森林与环境学报, 2022, 42(1): 11-19.
ZHANG M, ZHENG J M, WAN J Y, et al. Niche and interspecific associations of dominant woody plants in Dongmen Island, Fujian Province[J]. Journal of forest and environment, 2022, 42(1): 11-19.
- [38] 陈龙涛, 石晓东, 高润梅. 山西陵川南方红豆杉群落种间联结与生态位特征研究[J]. 植物科学学报, 2016, 34(4): 521-529.
CHEN L T, SHI X D, GAO R M. Interspecific association and niche characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* communities in Lingchuan, Shanxi[J]. Plant science journal, 2016, 34(4): 521-529.