

武夷山国家公园甜槠林主要树种生态位与种间联结分析

高亮¹, 江子涵¹, 洪子辰¹, 郑笑², 周艳³, 陈水飞², 陈世品¹, 林文俊^{1,①}

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 生态环境部南京环境科学研究所
国家环境保护武夷山生态环境科学观测研究站, 江苏 南京 210042; 3. 武夷山国家公园科研监测中心, 福建 武夷山 354300)

摘要: 为探明武夷山国家公园甜槠 [*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutcher] 林主要树种的生态位和种间联结情况, 在海拔 800、900、1 000、1 100 和 1 200 m 各设置 1 个样地, 并基于样方调查结果, 采用 Levins 指数、Pianka 指数 (O_{ik})、方差比率、 χ^2 检验、相关性系数和 Ochiai 指数 (OI) 对甜槠林主要树种的生态位特征和种间联结进行分析。结果显示: 甜槠重要值在 5 个样地中均排名前 3, 而其 Levins 指数在 P1、P2、P3、P4、P5 样地中的排名分别为 3、2、4、2、9。P1 和 P4 样地中 O_{ik} 值小于 0.5 的种对数较多, 而 P2、P3 和 P5 样地中 O_{ik} 值大于或等于 0.5 的种对数较多; P1 至 P4 样地中, 甜槠与其他树种间的 O_{ik} 值多大于或等于 0.5, 而 P5 样地则相反。P1 至 P4 样地主要树种的总体联结性为显著正联结, P5 样地主要树种的总体联结性为不显著正联结。 χ^2 检验结果显示: 5 个样地主要树种以正联结为主, 但联结性多不显著。相关性分析结果也显示各样地主要树种间多呈不显著正联结。5 个样地中 OI 值大于或等于 0.5 的种对占多数, 且甜槠与其他树种的 OI 值均大于 0.5。综合分析认为, 武夷山国家公园甜槠林生态系统稳定, 整体朝顶极群落方向演替; 甜槠作为地带性植被具有重要的生态指示作用。

关键词: 武夷山国家公园; 甜槠; 木本植物; 生态位; 种间联结

中图分类号: Q948.12; Q949.736.3; S727.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2024)06-0065-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2024.06.07

Analysis on niche and interspecific association of main tree species in *Castanopsis eyrei* forests in Wuyishan National Park GAO Liang¹, JIANG Zihan¹, HONG Zichen¹, ZHENG Xiao², ZHOU Yan³, CHEN Shuifei², CHEN Shipin¹, LIN Wenjun^{1,①} (1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. State Environmental Protection Scientific Observation and Research Station for Ecology and Environment of Wuyishan, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China; 3. Research and Monitoring Center, Wuyishan National Park, Wuyishan 354300, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2024, 33(6): 65-73

Abstract: In order to clarify the niches and interspecific associations of main tree species in *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutcher forests in Wuyishan National Park, one sample plot was designed at the altitudes of 800, 900, 1 000, 1 100, and 1 200 m, respectively, and based on the results of quadrat survey, the niche characteristics and interspecific associations of main tree species in *C. eyrei* forests were analyzed by Levins index, Pianka index (O_{ik}), variance ratio, χ^2 test, correlation coefficients, and Ochiai index (OI). The results indicate that the importance values of *C. eyrei* rank among the top three in all five sample plots, while the Levins indexes rank as 3, 2, 4, 2, and 9 in sample plots P1, P2, P3, P4, and P5, respectively. There are more species pairs with O_{ik} value smaller than 0.5 in sample plots P1 and P4, while sample plots P2, P3, and P5 contain more species pairs with O_{ik} value greater than or equal to 0.5. The O_{ik} values between *C. eyrei* and other tree species are predominantly greater than or

收稿日期: 2024-05-09

基金项目: 福建省林业科技项目(2022FKJ08); 福建省教育厅中青年教育科研项目(JAT210069)

作者简介: 高亮(1998—), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事森林生态学研究。

①通信作者 E-mail: linwenjun@fafu.edu.cn

引用格式: 高亮, 江子涵, 洪子辰, 等. 武夷山国家公园甜槠林主要树种生态位与种间联结分析[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(6): 65-73.

equal to 0.5 in sample plots P1 to P4, whereas sample plot P5 presents the opposite trend. The overall association among the main tree species in sample plots P1 to P4 is characterized by a significant positive association, while that in sample plot P5 is characterized by a non-significant positive association. The result of χ^2 test indicates that the main tree species in the five sample plots primarily exhibit positive associations, while most of these associations are not significant. The correlation analysis result reveals that the relationships among the main tree species in the sample plots predominantly display non-significant positive associations. In the five sample plots, most of the species pairs have an *OI* value greater than or equal to 0.5, and the *OI* values between *C. eyrei* and other tree species are all greater than 0.5. The comprehensive analysis indicates that the *C. eyrei* forest ecosystem in Wuyishan National Park is stable, it is toward succession of a climax community in general. As a zonal vegetation, *C. eyrei* plays an important ecological indication function.

Key words: Wuyishan National Park; *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutcher; woody plant; niche; interspecific association

植物群落内物种相互关系是种群生态学的核心议题,包括互助、利他和竞争关系等^[1],体现在群落内物种对有限资源的竞争与利用状态,决定了物种在群落中的地位。通过生态位和种间联结能够了解和研究群落结构与动态^[2]。生态位概括了某个物种在群落中所占用的环境资源及其与其他物种的功能互动,关系到群落稳定性及演替进程;种间联结则指因环境差异导致物种在空间上的不均衡分布和相互影响,是诠释群落演替过程中物种间相互作用的关键。深入研究生态位与种间联结有助于植被恢复、物种多样性的维护,对生态保护和管理工作具有重要实践价值和理论指导作用^[3]。

甜槠 [*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutcher] 为壳斗科 (Fagaceae) 锥属 [*Castanopsis* (D. Don) Spach] 常绿阔叶乔木,广泛分布在中国长江以南地区^[4],常与壳斗科其他种类以及樟科 (Lauraceae) 多个树种共同生长,形成中亚热带樟栲常绿阔叶林。武夷山国家公园地处中亚热带,拥有同纬度最典型、最丰富的生态系统植被类群^[5]。甜槠林为武夷山国家公园典型植被类型之一,已开展的研究主要集中在群落结构、种群更新和土壤有机碳变化等^[6-7],尚未见其种间关系的研究报道,不利于全面了解甜槠林生态系统的结构和功能,限制了该区域物种保护策略的有效制定。

鉴于此,选取武夷山国家公园具有代表性的甜槠林作为研究对象,设置 5 个海拔间隔 100 m 的样地,筛选出每个样地中木本植物重要值排名前 10 的主要树种,采用 Levins 指数、Pianka 指数、方差比率、 χ^2 检验、Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数分析甜槠林生态群落主要树种的生态位特征,并探究种间联

结对其群落结构和动态的影响,以期为武夷山国家公园常绿阔叶林资源保育与利用提供参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

武夷山国家公园甜槠林固定监测样地位于福建省武夷山市桐木村黄溪洲(东经 117°45'34"~117°46'23"、北纬 27°43'29"~27°45'55"),属中亚热带季风气候,年最高气温在 7 月,年最低气温在 1 月,年降水量在 1 800 mm 左右,空气相对湿度 75%~84%,土壤为典型的亚热带中山土壤^[7-8]。园内植物资源丰富,乔木层主要树种有甜槠、杉木 [*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、木荷 (*Schima superba* Gardner et Champ.)、小叶青冈 (*Quercus myrsinifolia* Blume)、罗浮锥 (*Castanopsis fabri* Hance)、日本杜英 (*Elaeocarpus japonicus* Siebold et Zucc.)、黄绒润楠 (*Machilus grijsii* Hance) 等;灌木层主要树种有马银花 [*Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.]、鹿角杜鹃 (*Rhododendron latoucheae* Franch.)、丁香杜鹃 (*Rhododendron farrerae* Sweet)、树参 [*Dendropanax dentiger* (Harms) Merr.]、大萼杨桐 [*Adinandra glischroloma* var. *macrosepala* (F. P. Metcalf) Kobuski]、白背瑞木 (*Corylopsis multiflora* var. *nivea* H. T. Chang)、华南蒲桃 [*Syzygium austrosinense* (Merr. et L. M. Perry) H. T. Chang et R. H. Miao]、交让木 (*Daphniphyllum macropodum* Miq.) 等。

1.2 研究方法

1.2.1 实地调查 根据美国史密森研究院的热带森林科学研究中心 (Center for Tropical Forest Science,

CTFS)制定的森林样地建立标准,构建5个海拔间隔100 m的甜槠林固定监测样地(面积4 800 m²)。采用GTS-102N全站仪[拓普康(北京)科技发展有限公司

]将每个样地精准划分为48个面积10 m×10 m的样方。调查样方内胸径大于或等于1 cm木本植物的种类、数量、冠幅、盖度和频度等^[9]。各样地概况见表1。

表1 武夷山国家公园甜槠林固定监测样地概况

Table 1 General situation of fixed monitoring sample plots of *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter forests in Wuyishan National Park

样地编号 Sample plot No.	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向 Slope aspect	木本植物数量 Number of woody plants
P1	E117°45'34"	N27°45'55"	800	23	东南 Southeast	4 729
P2	E117°45'50"	N27°43'29"	900	37	东南 Southeast	3 208
P3	E117°46'23"	N27°44'02"	1 000	21	东南 Southeast	4 128
P4	E117°46'09"	N27°43'54"	1 100	36	东南 Southeast	2 805
P5	E117°46'09"	N27°43'57"	1 200	28	东南 Southeast	3 600

1.2.2 重要值分析 参考蒋政权等^[10]的方法计算甜槠林内各树种的重要值,将各样地中重要值排名前10的树种作为主要树种,用于后续分析^[11]。

1.2.3 生态位特征分析 参考 Colwell 等^[12]的方法计算各树种的 Levins 指数(B_L),衡量树种的生态位宽度,即树种对环境资源的利用广度;参考施晨阳等^[13]的方法计算各树种间的 Pianka 指数(O_{ik}),衡量树种的生态位重叠程度。 O_{ik} 值域为[0,1],数值越高表示树种的生态位重叠程度越高。

1.2.4 总体联结性分析 采用方差比率(VR)^[14]评估各树种的整体关联程度。 $VR=1$,表示总体无种间联结性; $VR>1$,表示总体联结性为正联结; $VR<1$,表示总体联结性为负联结。根据统计量(W)判断总体联结性的显著水平,计算公式为 $W=VR \cdot N$, N 为样方数^[15]。 $\chi^2_{0.95}(N) \leq W \leq \chi^2_{0.05}(N)$,表示总体联结性不显著, $W>\chi^2_{0.05}(N)$ 或 $W<\chi^2_{0.05}(N)$,表示总体联结性显著。

1.2.5 种间联结性分析 借助 Yates 连续校正系数对 χ^2 值进行校正^[16-17],以 χ^2 值大小来评估各树种的种间联结性强弱; $\chi^2 \geq 3.841$,则种间呈显著联结; $\chi^2 < 3.841$,则种间呈不显著联结。正、负种间联结性可以通过比较 ad 和 bc 的值来确定:ad>bc,表示种对呈正联结;ad<bc,表示种对呈负联结;ad=bc,表示种对无联结。其中,a是2个物种同时出现的样方数量,b和c分别是2个物种各自单独出现的样方数量,而d是2个物种均未出现的样方数量。

1.2.6 种间联结性检验 采用 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数检验各树种的种间联结性^[18],2个相关系数的值域均为[-1,1],正值表示正联结,负值表示负联结,0则表示无联结。采用 Ochiai 指

数(OI)大小来衡量种间联结性强弱和树种随机共现概率, OI 值域为[0,1],数值越大表示种间联结性越强^[19]。

1.3 数据处理

利用 EXCEL 2010 软件计算甜槠林各树种的重要值;使用 R 4.1.3 软件中的 spaa 函数包计算 Levins 指数、Pianka 指数、方差比率、 χ^2 值、Pearson 相关系数、Spearman 秩相关系数和 Ochiai 指数。

2 结果和分析

2.1 武夷山国家公园甜槠林主要树种的重要值特征

结果(表2)显示:甜槠重要值在P1至P5样地中的排名分别为1、1、2、2、3。主要树种(在各样地中重要值排名前10)中,杉木和马银花在各样地均有分布,丁香杜鹃、白背瑞木、黄绒润楠、交让木和凤凰润楠(*Machilus phoenicis* Dunn)仅分布于P1样地,黄山松(*Pinus taiwanensis* Hayata)和虎皮楠[*Daphniphyllum oldhamii* (Hemsl.) K. Rosenth.]仅分布于P2样地,罗浮锥、薄叶山矾(*Symplocos anomala* Brand)和尖连蕊茶[*Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.]仅分布于P3样地,乌冈栎(*Quercus phillyraeoides* A. Gray)仅分布于P4样地,桃叶石楠[*Photinia prunifolia* (Hook. et Arn.) Lindl.]仅分布于P5样地。

2.2 武夷山国家公园甜槠林主要树种的生态位特征

2.2.1 生态位宽度 结果(表3)显示:甜槠林P1至P5样地主要树种 Levins 指数(B_L)分别为11.59~33.91、13.89~32.63、15.81~32.45、7.60~33.52、14.30~41.03,表明各样地主要树种对环境资源均能

表2 武夷山国家公园甜槠林各样地主要树种的重要值(IV)
Table 2 Importance values (IV) of main tree species in each sample plot of *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter forests in Wuyishan National Park

树种 Tree species	在各样地中的 IV 值 IV value in each sample plot				
	P1	P2	P3	P4	P5
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	12.44	13.10	6.58	7.60	6.10
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	6.56	2.68	4.50	5.53	12.43
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	3.93	4.45	5.97	10.65	9.79
鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	4.53	2.99	3.92		5.32
木荷 <i>Schima superba</i>		3.38	3.86	5.54	2.93
小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i>		6.15		4.82	4.95
树参 <i>Dendropanax dentiger</i>		2.98	5.11	4.65	
大萼杨桐 <i>Adinandra glischroloma</i> var. <i>macrosepala</i>			3.29	4.27	3.26
华南蒲桃 <i>Syzygium austrosinense</i>	4.31	8.96			
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>				3.49	3.58
港柯 <i>Lithocarpus harlandii</i>				3.09	4.22
丁香杜鹃 <i>Rhododendron farrerae</i>	5.83				
白背瑞木 <i>Corylopsis multiflora</i> var. <i>nivea</i>	5.51				
黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i>	3.98				
交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	2.65				
凤凰润楠 <i>Machilus phoenicis</i>	2.64				
黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>		3.81			
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>		2.72			
罗浮锥 <i>Castanopsis fabri</i>			7.95		
薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i>			2.93		
尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>			2.76		
乌冈栎 <i>Quercus phillyraeoides</i>				4.76	
桃叶石楠 <i>Photinia prunifolia</i>					2.94

有效利用。P1 和 P2 样地中 B_L 值最大的分别为鹿角杜鹃和华南蒲桃, P3、P4 和 P5 样地中 B_L 值最大的均为马银花, 说明这 3 个树种生态位宽度较大, 即对环境资源利用能力较高。甜槠 B_L 值在各样地中的排名分别为 3、2、4、2、9, 与重要值排名存在差异。

2.2.2 生态位重叠 结果(表4)显示: 甜槠林 P1 至 P5 样地中主要树种组成的 45 个种对的 Pianka 指数 (O_{ik}) 分别为 0.09 ~ 0.87、0.30 ~ 0.77、0.33 ~ 0.79、0.10 ~ 0.69、0.27 ~ 0.82; O_{ik} 值小于 0.5 的种对数分别为 26、12、15、31、11, O_{ik} 值大于或等于 0.5 的种对数分别为 19、33、30、14、34, 可见, P1 和 P4 样地中多数种对的 O_{ik} 值小于 0.5, 而 P2、P3 和 P5 样地中多数种对的 O_{ik} 值大于或等于 0.5。P1 至 P4 样地中, 45 个种对的 O_{ik} 平均值小于甜槠与其他树种的 O_{ik} 平均值, 而 P5 样地中二者相近。P1 至 P4 样地中甜槠与其他树种组成的种对中 O_{ik} 值大于或等于 0.5 的种对数较

多, 而 P5 样地中甜槠与其他树种组成的种对中 O_{ik} 值小于 0.5 的种对数略多。总体而言, 各样地甜槠与其他树种间的生态位重叠程度较高, 表明甜槠与其他树种存在着密切的种间关系。

2.3 武夷山国家公园甜槠林主要树种的联结性特征

2.3.1 总体联结性特征 经计算, 甜槠林 P1 至 P4 样地的方差比率 (VR) 分别为 1.52、1.58、1.52、1.70, 说明这 4 个样地主要树种的总体联结性均为正联结; P1 至 P4 样地的统计量 (W) 分别为 73.03、75.68、72.82、81.58, 均落在 χ^2 临界区间 (33.10, 65.17) 外, 说明这 4 个样地主要树种的总体联结性显著。P5 样地的 VR 值为 1.10, 说明此样地主要树种的总体联结性为正联结; P5 样地的 W 值为 52.83, 落在 χ^2 临界区间 (33.10, 65.17) 内, 说明此样地主要树种的总体联结性不显著。

表3 武夷山国家公园甜槠林各样地主要树种的 Levins 指数 (B_L)
Table 3 Levins indexes (B_L) of main tree species in each sample plot of *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter forests in Wuyishan National Park

树种 Tree species	在各样地中的 B_L 值 B_L value in each sample plot				
	P1	P2	P3	P4	P5
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	29.86	31.38	27.27	30.40	21.77
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	12.53	17.78	24.51	12.99	33.20
马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	17.38	26.89	32.45	33.52	41.03
鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	33.91	22.05	27.87		28.39
木荷 <i>Schima superba</i>		21.78	21.23	15.97	14.30
小叶青冈 <i>Quercus myrsinifolia</i>		30.58		16.20	25.83
树参 <i>Dendropanax dentiger</i>		30.74	27.90	19.11	
大萼杨桐 <i>Adinandra glischroloma</i> var. <i>macrosepala</i>			25.11	25.85	27.87
华南蒲桃 <i>Syzygium austrosinense</i>	33.27	32.63			
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>				21.77	26.22
港柯 <i>Lithocarpus harlandii</i>				17.00	24.64
丁香杜鹃 <i>Rhododendron farrerae</i>	11.59				
白背瑞木 <i>Corylopsis multiflora</i> var. <i>nivea</i>	20.39				
黄绒润楠 <i>Machilus grijsii</i>	28.04				
交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	21.92				
凤凰润楠 <i>Machilus phoenicis</i>	16.64				
黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>		13.89			
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>		24.01			
罗浮锥 <i>Castanopsis fabri</i>			31.00		
薄叶山矾 <i>Symplocos anomala</i>			24.18		
尖连蕊茶 <i>Camellia cuspidata</i>			15.81		
乌冈栎 <i>Quercus phillyraeoides</i>				7.60	
桃叶石楠 <i>Photinia prunifolia</i>					27.07

表 4 武夷山国家公园甜槠林各样地主要树种的 Pianka 指数 (O_{ik})¹⁾
Table 4 Pianka indexes (O_{ik}) of main tree species in each sample plot of *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter forests in Wuyishan National Park¹⁾

树种 Tree species	P1 样地树种间的 O_{ik} 值 O_{ik} value between tree species in sample plot P1								
	Ce	Cl	Rf	Cm	Rl	Sa1	Mg	Ro	Dm
Cl	0.36								
Rf	0.51	0.24							
Cm	0.65	0.09	0.37						
Rl	0.65	0.48	0.48	0.37					
Sa1	0.87	0.29	0.47	0.77	0.70				
Mg	0.68	0.50	0.55	0.43	0.70	0.59			
Ro	0.50	0.41	0.38	0.48	0.53	0.58	0.40		
Dm	0.48	0.47	0.27	0.28	0.60	0.46	0.62	0.40	
Mp	0.60	0.28	0.34	0.57	0.44	0.61	0.45	0.36	0.30

树种 Tree species	P2 样地树种间的 O_{ik} 值 O_{ik} value between tree species in sample plot P2								
	Ce	Sa1	Qm	Ro	Pt	Ss	Rl	Dd	Do
Sa1	0.67								
Qm	0.69	0.68							
Ro	0.68	0.64	0.64						
Pt	0.63	0.57	0.48	0.49					
Ss	0.49	0.61	0.50	0.48	0.30				
Rl	0.64	0.68	0.53	0.62	0.49	0.51			
Dd	0.68	0.75	0.77	0.65	0.46	0.46	0.56		
Do	0.55	0.69	0.61	0.62	0.37	0.52	0.45	0.66	
Cl	0.50	0.59	0.53	0.63	0.47	0.54	0.56	0.47	0.61

树种 Tree species	P3 样地树种间的 O_{ik} 值 O_{ik} value between tree species in sample plot P3								
	Cf	Ce	Ro	Dd	Cl	Rl	Ss	Ag	Sa2
Ce	0.59								
Ro	0.75	0.74							
Dd	0.51	0.61	0.68						
Cl	0.79	0.53	0.64	0.58					
Rl	0.48	0.60	0.64	0.69	0.50				
Ss	0.55	0.55	0.71	0.59	0.60	0.51			
Ag	0.78	0.49	0.60	0.43	0.77	0.49	0.57		
Sa2	0.73	0.55	0.68	0.39	0.55	0.45	0.47	0.54	
Cc	0.39	0.37	0.40	0.46	0.34	0.55	0.37	0.33	0.45

树种 Tree species	P4 样地树种间的 O_{ik} 值 O_{ik} value between tree species in sample plot P4								
	Ro	Ce	Ss	Cl	Qm	Qp	Dd	Ag	Ej
Ce	0.60								
Ss	0.41	0.63							
Cl	0.43	0.44	0.22						
Qm	0.50	0.48	0.35	0.32					
Qp	0.67	0.10	0.17	0.12	0.26				
Dd	0.45	0.58	0.44	0.23	0.34	0.13			
Ag	0.69	0.60	0.42	0.49	0.47	0.26	0.45		
Ej	0.52	0.62	0.46	0.26	0.36	0.17	0.59	0.44	
Lh	0.58	0.62	0.60	0.26	0.28	0.13	0.42	0.63	0.33

续表 4 Table 4 (Continued)

树种 Tree species	P5 样地树种间的 O_{ik} 值 O_{ik} value between tree species in sample plot P5								
	Cl	Ro	Ce	Rl	Qm	Lh	Ej	Ag	Pp
Ro	0.82								
Ce	0.58	0.64							
Rl	0.72	0.73	0.44						
Qm	0.67	0.67	0.36	0.73					
Lh	0.60	0.66	0.33	0.55	0.59				
Ej	0.52	0.68	0.52	0.52	0.50	0.42			
Ag	0.72	0.77	0.56	0.64	0.61	0.57	0.58		
Pp	0.58	0.68	0.44	0.63	0.52	0.44	0.53	0.55	
Ss	0.61	0.51	0.37	0.62	0.63	0.49	0.27	0.43	0.44

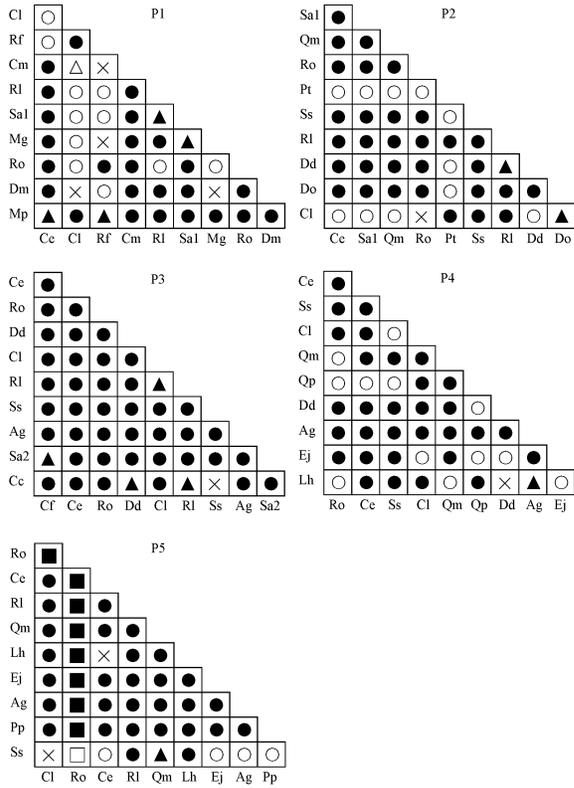
¹⁾ Ce: 甜槠 *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter; Cl: 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; Rf: 丁香杜鹃 *Rhododendron farrerae* Sweet; Cm: 白背瑞木 *Corylopsis multiflora* var. *nivea* H. T. Chang; Rl: 鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae* Franch.; Sa1: 华南蒲桃 *Syzygium austrosinense* (Merr. et L. M. Perry) H. T. Chang et R. H. Miao; Mg: 黄绒润楠 *Machilus griisii* Hance; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Dm: 交让木 *Daphniphyllum macropodum* Miq.; Mp: 凤凰润楠 *Machilus phoenicis* Dunn; Qm: 小叶青冈 *Quercus myrsinifolia* Blume; Pt: 黄山松 *Pinus taiwanensis* Hayata; Ss: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Dd: 树参 *Dendropanax dentiger* (Harms) Merr.; Do: 虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii* (Hemsl.) K. Rosenth.; Cf: 罗浮锥 *Castanopsis faberi* Hance; Ag: 大萼杨桐 *Adinandra glischroloma* var. *macrosepala* (F. P. Metcalf) Kobuski; Sa2: 薄叶山矾 *Symplocos anomala* Brand; Ce: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Qp: 乌冈栎 *Quercus phillyraeoides* A. Gray; Ej: 日本杜英 *Elaeocarpus japonicus* Siebold et Zucc.; Lh: 港柯 *Lithocarpus harlandii* (Hance ex Walp.) Rehder; Pp: 桃叶石楠 *Photinia prunifolia* (Hook. et Arn.) Lindl.

2.3.2 种间联结性特征 χ^2 检验结果(图 1)显示:甜槠林 P1 至 P5 样地中,呈正联结种对数分别为 29、33、44、32、38,分别占总种对数的 64.4%、73.3%、97.8%、71.1%、84.4%。P1 至 P5 样地中呈不显著联结的种对数分别为 36、42、40、43、33,呈显著联结的种对数分别为 5、2、4、1、1,仅 P5 样地中马银花与其他 9 个树种呈极显著联结。总体而言,甜槠林主要树种间以正联结为主但整体上联结性不显著,P5 样地中马银花与其他树种表现出较强的联结性。

2.3.3 种间联结性检验 相关性分析结果见图 2。Pearson 相关性分析结果显示:甜槠林 P1 至 P5 样地中,呈正联结的种对数分别为 27、35、28、22、25,分别占总种对数的 60.0%、77.8%、62.2%、48.9%、55.6%;P1 至 P5 样地中呈不显著联结的种对数分别为 40、40、37、39、40。Spearman 秩相关性分析结果显示:P1 至 P5 样地中,呈正联结的种对数分别为 28、37、27、27、25,分别占总种对数的 62.2%、82.2%、60.0%、60.0%、55.6%;P1 至 P5 样地中呈不显著联结的种对数分别为 33、41、36、39、39。总体而言,2 种相关性分

析结果基本一致,即各样地主要树种间以正联结为主,联结性多不显著。

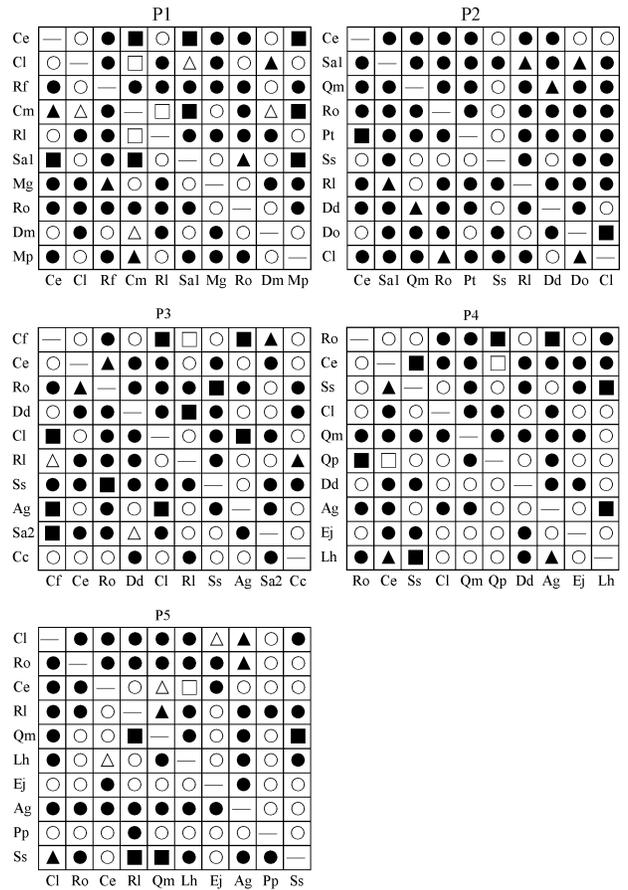
Ochiai 指数(OI)分析结果(表5)显示:甜槠林



■: 极显著正联结 Extremely significant positive association; □: 极显著负联结 Extremely significant negative association; ▲: 显著正联结 Significant positive association; △: 显著负联结 Significant negative association; ●: 不显著正联结 Non-significant positive association; ○: 不显著负联结 Non-significant negative association; ×: 无联结 No association.

Ce: 甜槠 *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter; Cl: 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; Rf: 丁香杜鹃 *Rhododendron farrerae* Sweet; Cm: 白背瑞木 *Corylopsis multiflora* var. *nivea* H. T. Chang; Rl: 鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae* Franch.; Sa1: 华南蒲桃 *Syzygium austrosinense* (Merr. et L. M. Perry) H. T. Chang et R. H. Miao; Mg: 黄绒润楠 *Machilus grijsii* Hance; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Dm: 交让木 *Daphniphyllum macropodum* Miq.; Mp: 凤凰润楠 *Machilus phoenicis* Dunn; Qm: 小叶青冈 *Quercus myrsinifolia* Blume; Pt: 黄山松 *Pinus taiwanensis* Hayata; Ss: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Dd: 树参 *Dendropanax dentiger* (Harms) Merr.; Do: 虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii* (Hemsl.) K. Rosenth.; Cf: 罗浮锥 *Castanopsis fabri* Hance; Ag: 大萼杨桐 *Adinandra glischroloma* var. *macrosepala* (F. P. Metcalf) Kobuski; Sa2: 薄叶山矾 *Symplocos anomala* Brand; Ce: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Qp: 乌冈栎 *Quercus phillyraeoides* A. Gray; Ej: 日本杜英 *Elaeocarpus japonicus* Siebold et Zucc.; Lh: 港柯 *Lithocarpus harlandii* (Hance ex Walp.) Rehder; Pp: 桃叶石楠 *Photinia prunifolia* (Hook. et Arn.) Lindl. P1-P5: 样地编号 Sample plot No.

图1 武夷山国家公园甜槠林各样地主要树种的 χ^2 检验
Fig. 1 χ^2 test of main tree species in each sample plot of *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter forests in Wuyishan National Park



■: 极显著正联结 Extremely significant positive association; □: 极显著负联结 Extremely significant negative association; ▲: 显著正联结 Significant positive association; △: 显著负联结 Significant negative association; ●: 不显著正联结 Non-significant positive association; ○: 不显著负联结 Non-significant negative association. 横线下方和上方分别为 Pearson 相关性分析结果和 Spearman 秩相关性分析结果 There are results of Pearson correlation analysis and Spearman rank correlation analysis below and above the lines, respectively.

Ce: 甜槠 *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter; Cl: 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; Rf: 丁香杜鹃 *Rhododendron farrerae* Sweet; Cm: 白背瑞木 *Corylopsis multiflora* var. *nivea* H. T. Chang; Rl: 鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae* Franch.; Sa1: 华南蒲桃 *Syzygium austrosinense* (Merr. et L. M. Perry) H. T. Chang et R. H. Miao; Mg: 黄绒润楠 *Machilus grijsii* Hance; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Dm: 交让木 *Daphniphyllum macropodum* Miq.; Mp: 凤凰润楠 *Machilus phoenicis* Dunn; Qm: 小叶青冈 *Quercus myrsinifolia* Blume; Pt: 黄山松 *Pinus taiwanensis* Hayata; Ss: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Dd: 树参 *Dendropanax dentiger* (Harms) Merr.; Do: 虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii* (Hemsl.) K. Rosenth.; Cf: 罗浮锥 *Castanopsis fabri* Hance; Ag: 大萼杨桐 *Adinandra glischroloma* var. *macrosepala* (F. P. Metcalf) Kobuski; Sa2: 薄叶山矾 *Symplocos anomala* Brand; Ce: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Qp: 乌冈栎 *Quercus phillyraeoides* A. Gray; Ej: 日本杜英 *Elaeocarpus japonicus* Siebold et Zucc.; Lh: 港柯 *Lithocarpus harlandii* (Hance ex Walp.) Rehder; Pp: 桃叶石楠 *Photinia prunifolia* (Hook. et Arn.) Lindl. P1-P5: 样地编号 Sample plot No.

图2 武夷山国家公园甜槠林各样地主要树种的 Pearson 相关性分析和 Spearman 秩相关性分析
Fig. 2 Pearson correlation analysis and Spearman rank correlation analysis of main tree species in each sample plot of *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter forests in Wuyishan National Park

表 5 武夷山国家公园甜槠林各样地主要树种的 Ochiai 指数 (OI)¹⁾
Table 5 Ochiai indexes (OI) of main tree species in each sample plot of *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter forests in Wuyishan National Park¹⁾

树种 Tree species	P1 样地树种间的 OI 值 OI value between tree species in sample plot P1								
	Ce	Cl	Rf	Cm	Rl	Sa1	Mg	Ro	Dm
Cl	0.62								
Rf	0.63	0.47							
Cm	0.82	0.41	0.55						
Rl	0.93	0.68	0.60	0.81					
Sa1	0.94	0.63	0.61	0.82	0.97				
Mg	0.90	0.61	0.62	0.75	0.91	0.92			
Ro	0.72	0.35	0.45	0.64	0.68	0.72	0.62		
Dm	0.81	0.60	0.49	0.70	0.88	0.84	0.77	0.61	
Mp	0.88	0.61	0.66	0.77	0.84	0.85	0.76	0.72	0.73

树种 Tree species	P2 样地树种间的 OI 值 OI value between tree species in sample plot P2								
	Ce	Sa1	Qm	Ro	Pt	Ss	Rl	Dd	Do
Sa1	0.96								
Qm	0.86	0.86							
Ro	0.90	0.95	0.84						
Pt	0.58	0.57	0.52	0.56					
Ss	0.73	0.77	0.69	0.76	0.44				
Rl	0.82	0.83	0.82	0.79	0.58	0.72			
Dd	0.88	0.91	0.85	0.89	0.57	0.71	0.86		
Do	0.76	0.83	0.76	0.79	0.51	0.65	0.73	0.75	
Cl	0.67	0.68	0.60	0.66	0.54	0.63	0.70	0.61	0.72

树种 Tree species	P3 样地树种间的 OI 值 OI value between tree species in sample plot P3								
	Cf	Ce	Ro	Dd	Cl	Rl	Ss	Ag	Sa2
Ce	0.81								
Ro	0.93	0.88							
Dd	0.87	0.79	0.90						
Cl	0.85	0.73	0.84	0.78					
Rl	0.91	0.79	0.93	0.89	0.88				
Ss	0.74	0.78	0.81	0.68	0.70	0.79			
Ag	0.86	0.75	0.91	0.81	0.84	0.91	0.76		
Sa2	0.92	0.82	0.90	0.83	0.78	0.87	0.74	0.84	
Cc	0.73	0.67	0.76	0.79	0.65	0.79	0.59	0.69	0.70

树种 Tree species	P4 样地树种间的 OI 值 OI value between tree species in sample plot P4								
	Ro	Ce	Ss	Cl	Qm	Qp	Dd	Ag	Ej
Ce	0.92								
Ss	0.79	0.73							
Cl	0.71	0.74	0.53						
Qm	0.68	0.68	0.57	0.54					
Qp	0.65	0.53	0.46	0.55	0.55				
Dd	0.88	0.82	0.68	0.65	0.68	0.56			
Ag	0.88	0.84	0.68	0.68	0.65	0.63	0.78		
Ej	0.79	0.76	0.66	0.53	0.57	0.50	0.62	0.68	
Lh	0.68	0.67	0.67	0.52	0.39	0.48	0.60	0.71	0.48

续表 5 Table 5 (Continued)

树种 Tree species	P5 样地树种间的 OI 值 OI value between tree species in sample plot P5								
	Cl	Ro	Ce	Rl	Qm	Lh	Ej	Ag	Pp
Ro	0.97								
Ce	0.83	0.88							
Rl	0.94	0.96	0.84						
Qm	0.83	0.83	0.69	0.81					
Lh	0.80	0.83	0.66	0.79	0.79				
Ej	0.82	0.84	0.76	0.83	0.66	0.66			
Ag	0.89	0.89	0.77	0.88	0.71	0.79	0.75		
Pp	0.90	0.91	0.78	0.88	0.74	0.72	0.79	0.77	
Ss	0.68	0.69	0.55	0.69	0.73	0.69	0.57	0.54	0.59

¹⁾ Ce: 甜槠 *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutchter; Cl: 杉木 *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; Rf: 丁香杜鹃 *Rhododendron farrearae* Sweet; Cm: 白背瑞木 *Corylopsis multiflora* var. *nivea* H. T. Chang; Rl: 鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae* Franch.; Sa1: 华南蒲桃 *Syzygium austrosinense* (Merr. et L. M. Perry) H. T. Chang et R. H. Miao; Mg: 黄绒润楠 *Machilus grijsii* Hance; Ro: 马银花 *Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch. ex Maxim.; Dm: 交让木 *Daphniphyllum macropodum* Miq.; Mp: 凤凰润楠 *Machilus phoenicis* Dunn; Qm: 小叶青冈 *Quercus myrsinifolia* Blume; Pt: 黄山松 *Pinus taiwanensis* Hayata; Ss: 木荷 *Schima superba* Gardner et Champ.; Dd: 树参 *Dendropanax dentiger* (Harms) Merr.; Do: 虎皮楠 *Daphniphyllum oldhamii* (Hemsl.) K. Rosenth.; Cf: 罗浮锥 *Castanopsis faberi* Hance; Ag: 大萼杨桐 *Adinandra glischroloma* var. *macrosepala* (F. P. Metcalf) Kobuski; Sa2: 薄叶山矾 *Symplocos anomala* Brand; Cc: 尖连蕊茶 *Camellia cuspidata* (Kochs) H. J. Veitch Gard. Chron.; Qp: 乌冈栎 *Quercus phillyraeoides* A. Gray; Ej: 日本杜英 *Elaeocarpus japonicus* Siebold et Zucc.; Lh: 港柯 *Lithocarpus harlandii* (Hance ex Walp.) Rehder; Pp: 桃叶石楠 *Photinia prunifolia* (Hook. et Arn.) Lindl.

P1 至 P5 样地中,主要树种组成的 45 个种对的 OI 值分别为 0.35 ~ 0.97、0.44 ~ 0.96、0.59 ~ 0.93、0.39 ~ 0.92、0.54 ~ 0.97, OI 值大于或等于 0.5 的种对数分别为 40、44、45、40、45。另外,5 个样地中甜槠与其他树种的 OI 值均大于 0.5。表明各样地主要树种间以及甜槠与其他树种间的联结性较强,树种间联系紧密。

3 讨 论

重要值是评估物种在群落中的地位及优势程度的关键指标。本研究中,甜槠重要值在 5 个样地中的排名均在前 3,在海拔 800 ~ 1 200 m 范围内,随着海拔上升,甜槠的重要值排名呈降低趋势,这与雷公山海拔 608 ~ 1 200 m 范围内甜槠群落的分布特征^[20]相吻合,表明随着海拔升高,甜槠的生态适应性逐渐下降。生态位宽度与重要值相同,也是评估物种在群落中地位的核心参数,但二者侧重点不同,生态位宽度度量了物种利用多种环境资源的能力范围,体现了物种对资源的适应性^[21]。本研究中,5 个样地主要树

种生态位宽度排名与重要值排名存在差异。物种的生态位宽度与重要值和分布频度密切相关^[22],重要值高的物种具有较大的生态位宽度,而且即便某些物种的重要值不高,若其分布频度高,也能有较大的生态位宽度,如P1样地的鹿角杜鹃、P2样地的华南蒲桃和P3样地的马银花等,这些树种有较强的适应复杂环境的能力,可能是由于他们均属于林下层小乔木或灌木,树种间可能通过巧妙的空间配置,实现对不同光线类型和其他生境资源的有效利用^[23]。

生态位重叠是度量物种对资源环境利用能力差异性和竞争关系的重要指标。本研究中,甜槠林主要树种间的Pianka指数在0.09~0.87之间,这些树种通过对资源的互补性利用和适应性演化,展现出对共同环境资源的高度利用^[24];P1和P4样地主要树种Pianka指数小于0.5的种对占多数,P2、P3和P5样地主要树种Pianka指数大于或等于0.5的种对占多数,反映了不同甜槠林主要树种生态位重叠的差异,这与群落内植物种类及其所处环境存在差异相关,同时受到互补或相似资源需求植物的影响^[25],如马银花、鹿角杜鹃、交让木等。P1至P4样地甜槠与其他树种的Pianka指数平均值大于样地主要树种间的Pianka指数平均值,表明甜槠作为建群种展现出显著的资源利用优势^[26];但在P5样地中甜槠与其他树种的Pianka指数平均值与样地主要树种间的Pianka指数平均值接近。实地调查发现,P5样地中杉木在林冠上层,与甜槠争夺光照资源,马银花和鹿角杜鹃等在林冠下层占据较多生长资源,在个体数量和分布频度上占据优势,因此,该样地的甜槠优势受到明显挑战。但生态位重叠仅能体现不同植物在资源需求和利用上的相似度,并不能全面揭示种间实际竞争状况,这是因为种间竞争还受到物种丰度、环境条件及种间互动机制等多重因子的影响^[27]。

种间联结性指物种因生境异质性而在空间分布上呈现出非均匀性和相互作用效应。正联结体现物种共存或互惠,共享相似生境;负联结显示差异化生境偏好,可能引发空间分离或资源竞争^[28]。本研究中,甜槠林P1至P4样地主要树种总体联结性均为显著正联结,P5样地主要树种总体联结性为不显著正联结。由于P5样地坡度较大,林分郁闭度低于其他样地,光照、水分和土壤养分等环境因子变化造成该样地以喜光小灌木树种居多,因此该样地种间关系多不显著^[29]。 χ^2 检验结果中,5个样地的主要树种

间均以正联结为主,表明甜槠林群落结构稳定,主要树种之间相互依赖,群落处于较稳定状态,这种关系有利于群落整体抵御外界干扰和保持物种多样性^[30]。5个样地的45个种对中,Ochiai指数大于或等于0.5的种对占多数,且甜槠与其他树种的Ochiai指数均大于0.5,说明该甜槠林的主要树种彼此之间联系紧密且高度互作^[31],同时,甜槠作为建群种,调控整个群落的环境资源,表明能与更多物种形成正联结关系的物种,在自然环境中更具优势^[32]。

综合运用不同种间关系测度方法能更全面地解析物种间的相互关系^[33]。尽管 χ^2 检验能判定优势种对间的联结性是否显著,但其仅关注物种出现与否的定性信息,忽略了如多度和盖度等定量数据^[34]。Pearson相关系数和Spearman秩相关系数能反映种间紧密程度。本研究的Pearson相关性和Spearman秩相关性分析结果相似,即甜槠林5个样地主要树种间整体以正联结为主,但联结性多不显著,表明这些树种间存在资源利用互补型关系,并不完全为竞争关系;但在P4样地中Pearson相关性分析结果显示不显著负联结种对数略大于不显著正联结种对数,可能是由于P4样地坡度较大、石壁较多、土层较薄等导致了检验结果的差异。在各样地中,甜槠与其他树种的联结性多不显著,反映了甜槠与其他树种既互利共生又相互竞争,也意味着该甜槠林生态系统仍处于动态变化中,整体尚未完全演替至顶极群落阶段。尽管本研究通过沿海拔梯度设置样地来提高研究的全面性,但受海拔1100m甜槠林样地的实际情况限制,可能影响结果的普遍性和准确性。因此,研究结果只能初步揭示武夷山国家公园甜槠林群落的生态特征和种间关系,关于该群落内种间复杂的内在生态过程及其在海拔梯度上的变化还需进一步分析。

4 结 论

武夷山国家公园甜槠林群落在不同海拔的生态适应能力存在差异;甜槠与其他树种在生存资源上竞争激烈,但作为建群种的甜槠仍控制着整个群落的生态进程;甜槠林主要树种间以正联结为主,形成了较为高效的资源分配机制。总体来看,武夷山国家公园甜槠林生态系统稳定,正逐步演替至顶极群落状态;甜槠作为该区域的地带性植被,在生态指示上扮演着关键角色。

参考文献:

- [1] 徐满厚,刘敏,翟大彤,等.植物种间联结研究内容与与方法评述[J].生态学报,2016,36(24):8224-8233.
- [2] 何江,徐来仙,艾训儒.湖北七姊妹山亚热带常绿阔叶混交林主要木本植物的生态位与种间联结[J].林业科学研究,2023,36(3):138-148.
- [3] 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.
- [4] 胡正华,钱海源,于明坚.古田山国家级自然保护区甜槠林优势种群生态位[J].生态学报,2009,29(7):3670-3677.
- [5] 陈水飞,徐辉,林文俊,等.武夷山国家公园植物群落物种多样性沿海拔梯度的变化分析[J].植物资源与环境学报,2023,32(1):1-9.
- [6] 丁晖,徐辉,徐鲜钧,等.2011—2016年武夷山甜槠常绿阔叶林乔木层群落动态[J].生态学报,2018,38(20):7391-7399.
- [7] 赵青,刘爽,陈燕菲,等.武夷山不同林龄甜槠林土壤呼吸特征及影响因素[J].生态学报,2021,41(6):2326-2338.
- [8] 陈水飞,徐辉,陈世品,等.武夷山国家公园植物果实类型谱的海拔梯度格局[J].生态与农村环境学报,2023,39(3):353-359.
- [9] 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.
- [10] 蒋政权,洪剑明,胡东.北京市杨镇湿地植物群落多样性及优势种重要值的研究[J].湿地科学,2004,2(3):213-219.
- [11] SU S J, LIU J F, HE Z S, et al. Ecological species groups and interspecific association of dominant tree species in Daiyun Mountain National Nature Reserve [J]. Journal of Mountain Science, 2015, 12(3): 637-646.
- [12] COLWELL R K, FUTUYMA D J. On the measurement of niche breadth and overlap[J]. Ecology, 1971, 52(4): 567-576.
- [13] 施晨阳,蒋天雨,赖文峰,等.宁夏六盘山毛榛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.
- [14] SCHLUTER D. A variance test for detecting species associations, with some example applications [J]. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [15] 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.
- [16] KICHENIN E, WARDLE D A, PELTZER D A, et al. Contrasting effects of plant inter- and intraspecific variation on community-level trait measures along an environmental gradient [J]. Functional Ecology, 2013, 27(5): 1254-1261.
- [17] LI J, ZHANG X Y, TIAN C M. Spatial pattern of paulownia witches' broom and its effects on the growth of *Paulownia elongata* in Shaanxi Province, China [J]. Forestry Studies in China, 2009, 11(1): 34-38.
- [18] BISHARA A J, HITTNER J B. Testing the significance of a correlation with nonnormal data: comparison of Pearson, Spearman, transformation, and resampling approaches [J]. Psychological Methods, 2012, 17(3): 399-417.
- [19] 张悦,郭利平,易雪梅,等.长白山北坡3个森林群落主要树种种间联结性[J].生态学报,2015,35(1):106-115.
- [20] 叶荣欢,李登江,余德会,等.雷公山保护区甜槠群落乔木层物种多样性及其相关性研究[J].湖南林业科技,2022,49(6):66-71.
- [21] 李雨晗,丁彦芬,张畅为,等.南京外秦淮河优势草本植物生态位和种间联结性研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2023,47(6):203-210.
- [22] 钱逸凡,伊力塔,胡军飞,等.普陀山主要植物种生态位特征[J].生态学报,2012,31(3):561-568.
- [23] 张孟文,钟才荣,吕晓波,等.海南清澜港南海桑群落中物种生态位特征和种间联结性[J].植物资源与环境学报,2023,32(5):70-77.
- [24] 吴姣姣,向明学,拉多,等.不同放牧强度对拉萨河谷性草原主要植物生态位及种间联结的影响[J].草地学报,2022,30(3):513-522.
- [25] 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.
- [26] 许宝坤,许晓岗,李垚,等.黄山常绿阔叶林甜槠群落优势种种间关联分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(4):77-84.
- [27] 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.
- [28] 李丘霖,宗秀虹,邓洪平,等.赤水桫欏群落乔木层优势种生态位与种间联结性研究[J].西北植物学报,2017,37(7):1422-1428.
- [29] BELOKOPYTOVA L V, ZHIRNOVA D F, KRUTOVSKY K V, et al. Species- and age-specific growth reactions to extreme droughts of the keystone tree species across forest-steppe and sub-taiga habitats of South Siberia [J]. Forests, 2022, 13(7): 1027.
- [30] 王乃江,张文辉,陆元昌,等.陕西子午岭森林植物群落种间联结性[J].生态学报,2010,30(1):67-78.
- [31] 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.
- [32] 王瑞武,李敏岚,韩嘉旭,等.适合度的相对性与路径依赖的自然选择[J].生物多样性,2022,30(1):21323.
- [33] 郑生猛,盖爽爽,谢强,等.桂西北喀斯特峰丛洼地典型灌丛植物种间关系及环境解释[J].农业现代化研究,2016,37(6):1198-1205.
- [34] 王伟耀,郑心炫,吴雅华,等.平潭岛原生滨海植物群落种间关系[J].林业科学研究,2021,34(5):125-134.

(责任编辑:吴蕊夷)