

DOI: 10.20103/j.stxb.202212273676

李锦婷, 穆君, 申开平, 郭云, 白小节, 臧丽鹏, 李青, 韩勛, 赵颖, 何跃军. 小黄花茶群落优势木本植物生态位及种间联结性. 生态学报, 2024, 44(1): 283-294.

Li J T, Mu J, Shen K P, Guo Y, Bai X J, Zang L P, Li Q, Han X, Zhao Y, He Y J. Niche and interspecific association of dominant woody plants in *Camellia luteoflora* community. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(1): 283-294.

## 小黄花茶群落优势木本植物生态位及种间联结性

李锦婷<sup>1</sup>, 穆君<sup>2</sup>, 申开平<sup>1</sup>, 郭云<sup>1,3</sup>, 白小节<sup>2</sup>, 臧丽鹏<sup>1</sup>, 李青<sup>1</sup>, 韩勛<sup>1</sup>,  
赵颖<sup>1</sup>, 何跃军<sup>1,\*</sup>

1 贵州大学林学院, 森林生态研究中心, 贵阳 550025

2 贵州省赤水桫欏国家级自然保护区管理局, 赤水 564700

3 贵州民族大学生态环境工程学院, 贵阳 550025

**摘要:** 赤水桫欏国家级自然保护区是小黄花茶物种原产地, 近来研究发现小黄花茶种群具有急速衰退的趋势, 其物种濒危机制并不清楚。生态位及种间联结性可反映物种利用资源的能力, 研究小黄花茶种群生态位及其与伴生种之间的联结性, 对探索小黄花茶群落稳定性具有重要意义。采用典型样地调查法对赤水桫欏国家级自然保护区 8 个小黄花茶集中分布样地进行群落学调查, 选择重要值排序前 15 个优势木本物种, 计算生态位宽度 ( $B_s$ 、 $B_L$ )、生态位相似比 ( $C_{ik}$ ) 及重叠值 ( $O_{ik}$ )、种间联结系数 ( $AC$ ) 以及共同出现百分率 ( $PC$ ) 等指标, 分析物种生态位与物种联结性之间的关系。结果表明: 小黄花茶群落木本物种共 63 种, 小黄花茶重要值 (0.21) 和生态位宽度值 ( $B_s = 2.89$ ,  $B_L = 15.76$ ) 均为最大。小黄花茶与其它优势种组成 14 个种对中  $C_{ik} \geq 0.50$  的有 2 对,  $O_{ik} \geq 0.50$  的有 3 对, 优势种生态位相似性和生态位重叠程度均较低。优势种总体联结性和种间联结性呈不显著负关联。三种种间联结性检验方法 ( $\chi^2$ 、 $AC$ 、 $PC$ ) 均表明, 小黄花茶与 14 个优势物种间关联性较弱。优势物种  $AC$  值、 $PC$  值与生态位相似比、生态位重叠值之间呈极显著正关联。研究表明, 小黄花茶种群与其优势伴生种的种间关联性弱, 优势物种间相对独立分布, 群落稳定性较弱。

**关键词:** 小黄花茶; 种群; 木本植物; 生态位; 种间联结

## Niche and interspecific association of dominant woody plants in *Camellia luteoflora* community

LI Jinting<sup>1</sup>, MU Jun<sup>2</sup>, SHEN Kaiping<sup>1</sup>, GUO Yun<sup>1,3</sup>, BAI Xiaojie<sup>2</sup>, ZANG Lipeng<sup>1</sup>, LI Qing<sup>1</sup>, HAN Xu<sup>1</sup>,  
ZHAO Ying<sup>1</sup>, HE Yuejun<sup>1,\*</sup>

1 Forestry College, Forest Ecology Research Center, Guizhou University, Guiyang 550025, China

2 Management Bureau of Chishui Alsophila Spinulosa National Nature Reserve, Chishui 564700, China

3 College of Eco-Environmental Engineering, Guizhou Minzu University, Guiyang 550025, China

**Abstract:** *Camellia luteoflora* is mainly distributed in Chishui Alsophila National Nature Reserve. Recent studies found that the *C. luteoflora* population was in rapid decline. However, the mechanism of the species' endangerment is unclear at present. Niche and interspecific association can be used to understand the ability of species to use resources and adapt to the environment, as well as the cooperation and competition between species, and can objectively reflect the stability of community structure at present stage. The natural regeneration of *C. luteoflora* is closely related to the interaction between its

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (32260268); 贵州省科技计划项目 (黔科合支撑 [2021] 一般 455); 贵州省高层次创新型人才平台项目 ([2020]6004); 赤水小黄花茶专项调查项目 (2021) 资助

**收稿日期:** 2022-12-27; **网络出版日期:** 2023-09-28

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hyj1358@163.com

associated species and the environment. It is of great significance to explore the stability of the *C. luteoflora* community and understand the interspecies relationship by studying the population niche and the association between *C. luteoflora* and the accompanying species. The purpose of this study is to explore the community stability through the niche of *C. luteoflora* population and the association between its associated species, so as to provide theoretical reference for species conservation and management of *C. luteoflora*. In this study, a typical plot survey was used to investigate eight concentrated distribution sample plots of *C. luteoflora*. By calculating important values, the top 15 species were selected as the dominant woody species of the *C. luteoflora* community, and then analyzed the species niche and interspecific association by calculating indexes such as niche width ( $B_s$  and  $B_L$ ), niche similarity ratio ( $C_{ik}$ ), niche overlap value ( $O_{ik}$ ), variance ratio ( $VR$ ), statistic ( $W$ ), the Chi-square test ( $\chi^2$ ), interspecific association coefficient ( $AC$ ), and co-occurrence percentage ( $PC$ ). The results showed that the important value and niche width of *C. luteoflora* were the highest in 63 woody species. There were 14 species pairs of *C. luteoflora* with other dominant species, including two species pairs with  $C_{ik} \geq 0.50$  and 3 species pairs with  $O_{ik} \geq 0.50$ , and the niche similarity ratio and niche overlap value of dominant species were low. The overall connectivity revealed a non-significantly negative relationship between most of the dominant species pairs in *C. luteoflora* community. The results of three methods (the Chi-square test, interspecific association coefficient, and co-occurrence percentage) indicated that there was no significant association among most species pairs, reflecting a weak association among the various species pairs, and most of the species showed an independent distribution pattern. Additionally, three tests of interspecific association ( $\chi^2$ ,  $AC$ ,  $PC$ ) showed a weak correlation between *C. luteoflora* and 14 species. Furthermore, there was a significantly positive correlation between interspecific association coefficient and niche similarity ratio, interspecific association coefficient and niche overlap value, co-occurrence percentage and niche similarity ratio, co-occurrence percentage and niche overlap value. It indicated that when the species pairs showed extremely significantly positive associations, the niche overlap value was large, while when the species pairs showed extremely significantly negative associations, the niche overlap value was small. Our results suggest that the interspecific correlation between *C. luteoflora* and the dominant companion species was weak, the dominant species showed a relatively independent distribution pattern, and the stability of the *C. luteoflora* community was weak.

**Key Words:** *Camellia luteoflora*; population; woody plants; niche; interspecific association

濒危物种是生物多样性的重要组成部分,对生态系统结构及功能维持具有不可替代作用<sup>[1]</sup>。物种致濒危原因包括物种自身特性<sup>[2]</sup>、生物间的相互作用<sup>[3]</sup>,以及物种与环境因子之间的相互作用等<sup>[4]</sup>。濒危物种利用资源及适应环境的能力较弱<sup>[5]</sup>,在群落中常受到其它物种的竞争排斥<sup>[6]</sup>,限制其种群更新和维持<sup>[7]</sup>。然而,濒危物种与其伴生种之间也可能存在互利互补关系,对其生长与存活有促进影响,Soliveres 等<sup>[8]</sup>在研究中发现,伴生植物不仅提高了特定区域中濒危植物的数量,还可能通过防止濒危植物的局部灭绝来促进多物种共存;此外,Holmes 等<sup>[9]</sup>、Van Der Putten 等<sup>[10]</sup>、McIntire 和 Fajardo<sup>[11]</sup>在研究中也指出,伴生植物通过缓解濒危植物与其它物种间的竞争强度、降低土壤中的病原体数量以及促进濒危植物的繁殖等方式对濒危植物的生长存在积极作用。因此,研究濒危物种与其伴生种之间的相互作用,探索物种致濒危原因及物种共存机制,对珍稀濒危物种的保护具有现实意义<sup>[12]</sup>。

生态位与种间联结性可从时空尺度上了解物种利用资源和适应环境的能力以及物种间的协作与竞争<sup>[13]</sup>,并能够客观反映现阶段群落结构稳定性<sup>[14]</sup>。生态位指种群在生态系统中的时空位置及其与相关种群间的功能关系<sup>[15]</sup>,种间联结是不同物种之间的相互作用和空间关系<sup>[16]</sup>。刘益鹏等<sup>[17]</sup>认为研究群落中濒危物种的生态位和种间联结性,有助于探索濒危物种在生境中的适应性及与其它物种之间的功能关系。黄祥童等<sup>[18]</sup>在研究中提到适度限制与濒危物种生态位较高重叠的物种规模,提高与濒危物种有正相互作用的物种比例,有利于促进濒危物种适宜生境营造并达到实效保护的目。因此,通过对物种生态位和种间联结性特

征的研究,能够为珍稀物种或重要模式物种制定种群复壮的保护对策。

小黄花茶(*Camellia luteoflora*)是山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)小黄花茶组(Sect. *Luteotlora*)的多年生常绿灌木或小乔木<sup>[19]</sup>,主要模式产地在赤水桫欏国家级自然保护区,于1988年被列为贵州省珍稀濒危保护植物<sup>[20]</sup>。该物种花型较小、花色金黄、具蜡质光泽,在形态、结构上的特殊性使其具有一定的科研价值和经济价值<sup>[21]</sup>。最新调查研究发现,赤水桫欏国家级自然保护区境内8个小生境现存小黄花茶种群数量仅为545株,小黄花茶种群数量日渐减少,呈急速衰退的趋势<sup>[22]</sup>。因此,开展小黄花茶的保护拯救工作刻不容缓。汪豪<sup>[23]</sup>认为小黄花茶虽然存在一定的生殖障碍,但其遗传多样性保持在非较低水平,说明物种自身特性并非是其致濒的主因。小黄花茶自然更新与其伴生种以及环境之间的相互作用密切相关,探索保护物种种群生态位和种间联结性,有助于清楚认识物种间相互关系并确定群落稳定性,为濒危物种保护提供科学依据<sup>[17]</sup>。目前,对小黄花茶的研究主要集中在生物学特性<sup>[24]</sup>、物种起源<sup>[25]</sup>、种群结构<sup>[22]</sup>、空间分布格局<sup>[26]</sup>、繁殖技术等方面<sup>[27]</sup>,而未见对小黄花茶群落物种生态位与种间联结性的研究报道。这些研究难以清楚解释小黄花茶种群衰退的濒危机制。本研究拟通过小黄花茶种群生态位及其与伴生种之间的联结性探索群落稳定性,为小黄花茶物种保护和管理提供理论参考。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

小黄花茶集中分布地位于赤水桫欏国家级自然保护区内葫市镇金沙村闷头溪2.14km<sup>2</sup>范围内,地理位置为:28°28′01″—28°28′56″N,105°57′35″—105°58′47″E,海拔352—756m。该区域属于中亚热带湿润季风气候,河谷具有类似南亚热带的气候特征<sup>[26]</sup>。年均温17.7℃,年均降水量1200—1300mm,相对湿度大于84%<sup>[20]</sup>。土壤类型为紫色土,土层深厚肥沃。区域内生物资源丰富,植被类型多样,主要分布中亚热带常绿阔叶林、亚热带常绿落叶阔叶混交林、南亚热带雨林层片的常绿阔叶林等植被类型<sup>[28]</sup>。本研究调查样地位于赤水桫欏国家级自然保护区葫市镇金沙村闷头溪下河沟、观音岩谷、石缸岩、大湾子、黄泥沟、陈田、血台子、半坡头8个集中分布点,调查样地位置分布如图1。

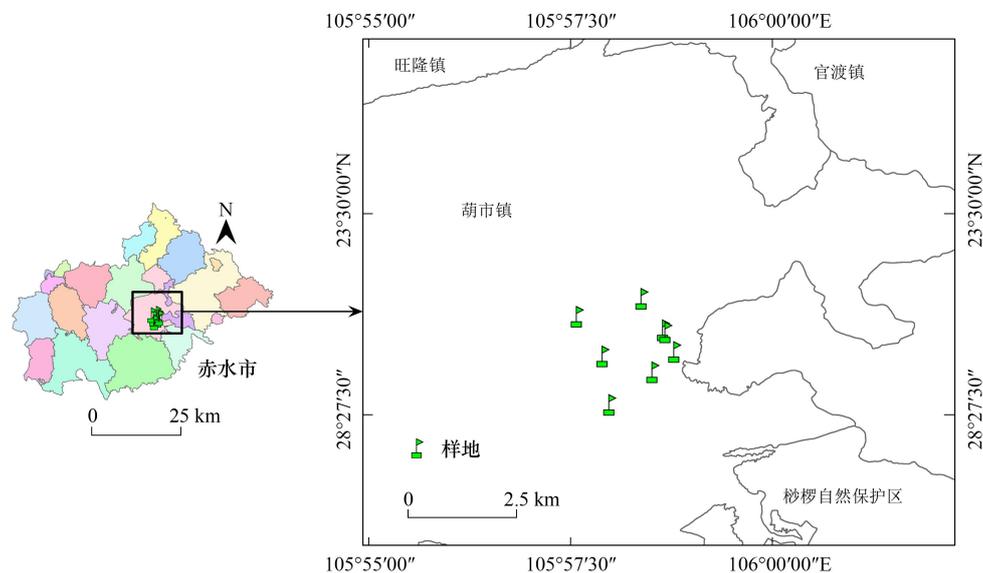


图1 研究区小黄花茶群落调查样地位置

Fig.1 Plot location of *C. luteoflora* community for survey

### 1.2 样地设置及调查方法

本研究采用典型样地法对以上8个小黄花茶种群集中分布点进行群落学调查。每个调查样地大小20m×

20m,在每个样地设置4个10m×10m的相邻格子样方,共计32个样方。调查时记录了所有样方中的小黄花茶种群个体数量及地径、高度和冠幅,以及物种名称、高度、冠幅、株数、乔木胸径及灌木地径等,并记录生境信息如表1。本次调查发现小黄花茶群落乔木层物种主要为毛竹(*Phyllostachys edulis*)、慈竹(*Bambusa emeiensis*)、樟(*Cinnamomum camphora*)、枫香树(*Liquidambar formosana*)、赤杨叶(*Alniphyllum fortunei*)等;灌木层主要物种为小黄花茶、桫欏(*Alsophila spinulosa*)、毛桐(*Mallotus barbatus*)、鹅掌柴(*Heptapleurum heptaphyllum*)、盐麸木(*Rhus chinensis*)等;草本层物种为竹叶草(*Oplismenus compositus*)、卷柏(*Selaginella tamariscina*)、荇草(*Arthraxon hispidus*)、菝葜(*Smilax china*)和黄精(*Polygonatum zanlanscianense*)等。

表1 小黄花茶群落调查样地生境特征

Table 1 Habitat characteristics of surveyed plots on the *C. luteoflora* community

样地 Plot	地理位置 Locations	海拔 Altitude/m	坡度 Slope grade/(°)	坡向 Slope direction	土壤类型 Soil type	土层厚度 Soil thickness/cm	群落盖度 Community coverage	小黄花茶 种群数量 Population numbers of <i>C. luteoflora</i>	样地生 境特点 Habitat characteristics of plots
下河沟	28°28'13.77"N; 105°57'54.36"E	352	30	西	紫色土	5—10	0.5	74	位于山体下部谷底溪流一侧,基岩出露率70%,生境恶劣;优势植物毛竹、慈竹、小黄花茶等。
观音岩谷	28°28'33.24"N; 105°58'39.40"E	538	40	西北	紫色土	>30	0.5	24	位于山体中部峭壁旁溪流一侧,基岩出露率40%土层扰动强;优势植物毛竹、桫欏、小黄花茶、慈竹等。
石缸岩	28°28'56.66"N; 105°58'23.31"E	679	16	西	紫色土	5—9	0.3	28	位于山体中部峭壁旁,基岩出露率50%,人为干扰严重;优势植物毛竹、小黄花茶、杉木等。
大湾子	28°28'01.83"N; 105°58'31.51"E	656	21	西南	紫色土	>50	0.75	55	位于山体中部崖壁旁,基岩出露率40%;优势植物毛竹、小黄花茶、桫欏等。
黄泥沟	28°28'31.68"N; 105°58'42.11"E	598	35	东北	紫色土	60—80	0.55	55	位于山体中部崖壁旁,基岩出露率20%;优势植物毛竹、桫欏等。
陈田	28°28'43.34"N; 105°57'35.45"E	756	25	东南	紫色土	>40	0.55	99	位于山体中部的峭壁旁溪流两侧,基岩出露率10%,优势植物毛竹、杉木等。
血台子	28°28'16.91"N; 105°58'47.75"E	621	60	西北	紫色土	>50	0.9	90	位于山体中部常绿阔叶林内,坡度较大,基岩出露率45%,原生性强;优势植物杜茎山、桫欏、鹅掌柴、毛桐等。
半坡头	28°28'37.58"N; 105°57'59.51"E	545	55	西北	紫色土	>10	0.6	120	位于山体中部,坡度大,基岩出露率30%;优势植物毛竹、小黄花茶等。

### 1.3 数据处理

计算木本层所有物种重要值<sup>[29]</sup>,选择重要值排序前15个优势木本物种进行生态位和种间联结性分析。采用 Shannon 指数( $B_s$ )和 Levins 指数( $B_l$ )计算优势种生态位宽度<sup>[30-31]</sup>,Schoener 指数( $C_{ik}$ )和 Pianka 指数( $O_{ik}$ )计算种间生态位相似性和生态位重叠度<sup>[32-33]</sup>,利用方差比率( $VR$ )和检验统计量( $W$ )分析群落总体联结性<sup>[34]</sup>,选择卡方检验( $\chi^2$ )、联结系数( $AC$ )和共同出现百分率( $PC$ )联合分析种间联结性<sup>[35]</sup>。利用 R 4.1.3 中 'spaa' 包进行重要值、生态位与种间联结特征的相关计算及半矩阵图的绘制,Origin 2021 绘制  $AC$  值、 $PC$  值与  $C_{ik}$ 、 $O_{ik}$  之间的线性回归图。各计算公式如下:

(1) Shannon 生态位宽度( $B_s$ ):

$$B_s = - \sum_{j=1}^r P_{ij} \ln(P_{ij})$$

式中, $B_s \in [0, \ln r]$ ,  $B_s$  值越大生态位越宽。

(2) Levins 生态位宽度( $B_L$ ):

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

式中, $B_L \in [1, r]$ ,  $B_L$  值越大生态位越宽。

(3) 生态位相似比( $C_{ik}$ ):

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

式中, $C_{ik} \in [0, 1]$ ,  $C_{ik}$  值越大, 生态位相似性越高。

(4) 生态位重叠值( $O_{ik}$ ):

$$O_{ik} = \sum_{j=1}^r P_{ij} P_{kj} / \sqrt{\sum_{j=1}^r P_{ij}^2 \sum_{j=1}^r P_{kj}^2}$$

式中, $O_{ik} \in [0, 1]$ ,  $O_{ik}$  值越大, 生态位重叠程度越高。

(5) 方差比率( $VR$ ):

$$VR = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r (T_j - t)^2 / \sum_{j=1}^S \left(1 - \frac{r_i}{r}\right) \frac{r_i}{r}$$

式中, $VR > 1$ : 正关联,  $VR < 1$ : 负关联,  $VR = 1$ : 无关联。

(6) 检验统计量( $W$ ):

$$W = VR \times r$$

式中, $\chi^2(0.95, r) < W < \chi^2(0.05, r)$ : 总体联结性显著,  $W < \chi^2(0.95, r)$  和  $W > \chi^2(0.05, r)$ : 总体联结性不显著。

(7) 卡方检验( $\chi^2$ ):

$$X^2 = \frac{r(|ad - bc| - 0.5r)^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

式中, $ad > bc$ : 正联结,  $ad < bc$ : 负联结,  $\chi^2 < 3.841$ : 不显著联结,  $3.841 \leq \chi^2 \leq 6.635$ : 显著联结,  $\chi^2 > 6.635$ : 极显著联结。

(8) 种间联结系数( $AC$ ):

$$ad \geq bc, AC = \frac{ad - bc}{(a+b)(b+d)}$$

$$ad < bc, d \geq a, AC = \frac{ad - bc}{(a+b)(a+c)}$$

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

式中, $AC$  值越趋近 1, 正联结性越强, 越趋近 -1, 负联结性越强,  $AC = 0$ , 种间无联结。

(9) 共同出现百分率( $PC$ ):

$$PC = \frac{a}{a+b+c}$$

式中, $PC$  值越趋近 1, 正联结性越强,  $PC = 0$ , 种间无联结。

公式(1)—(9)中: $r$  为样方总数; $P_{ij} = n_{ij}/N_i$ ,  $P_{kj} = n_{kj}/N_k$ ,  $n_{ij}$  ( $n_{kj}$ ) 为物种  $i$  ( $k$ ) 在样方  $j$  的重要值; $N_i$  ( $N_k$ ) 为物种  $i$  ( $k$ ) 在全部样方的重要值; $T_j$  为样方  $j$  中出现的物种数; $t$  为样方中物种平均数; $S$  为总物种数; $r_i$  为物种  $i$  出现的样方数; $a$  为物种  $i$  和  $k$  同时出现的样方数; $b$  为只有物种  $k$  出现的样方数; $c$  为只有物种  $i$  出现的样方

数;  $d$  为物种  $i$  和  $k$  都不出现的样方数。

## 2 结果与分析

### 2.1 优势植物重要值与生态位宽度

由表 2 可知,在群落 15 个优势物种重要值大小排序中,小黄花茶重要值最大为 0.2086,其次为毛竹和慈竹,分别为 0.1242 和 0.1118,这三个物种为群落优势物种,伴生种盐麸木重要值最小为 0.0155。15 个种生态位宽度 Shannon 指数  $B_S$  和 Levins 指数  $B_L$  平均值分别为 1.36 和 5.58,群落中小黄花茶生态位宽度  $B_S$  和  $B_L$  均最大,分别为 2.89 和 15.76,其次为桫欏,  $B_S$  和  $B_L$  分别为 2.6728 和 12.7743。毛竹、毛桐和慈竹生态位宽度值  $B_S$  和  $B_L$  均相对较大。枫香树、香椿 (*Toona sinensis*)、杨梅 (*Morella rubra*) 和黄葛树 (*Ficus virens*) 的生态位宽度值  $B_S$  和  $B_L$  均最小,分别为 0 和 1。结果表明,小黄花茶在群落中具有最大的重要值和生态位宽度值。

表 2 优势植物重要值与生态位宽度

Table 2 The important value and niche breadth of dominant plants

编号 No.	物种 Species	重要值 Important value	生态位宽度 Niche breadth Shannon ( $B_S$ )	生态位宽度 Niche breadth Levins ( $B_L$ )
1	小黄花茶 <i>Camellia luteoflora</i>	0.2086	2.8946	15.7633
2	毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	0.1242	2.5479	11.6519
3	慈竹 <i>Bambusa emeiensis</i>	0.1118	2.1496	8.2665
4	樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	0.0480	1.8396	5.8508
5	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	0.0448	0.0000	1.0000
6	赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i>	0.0445	0.6929	1.9992
7	香椿 <i>Toona sinensis</i>	0.0441	0.0000	1.0000
8	杨梅 <i>Morella rubra</i>	0.0411	0.0000	1.0000
9	桫欏 <i>Alsophila spinulosa</i>	0.0367	2.6728	12.7743
10	黄葛树 <i>Ficus virens</i>	0.0293	0.0000	1.0000
11	杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	0.0191	1.9511	6.4864
12	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.0172	0.6209	1.7529
13	鹅掌柴 <i>Heptapleurum heptaphyllum</i>	0.0163	1.9293	5.3295
14	毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	0.0159	2.1548	7.7478
15	盐麸木 <i>Rhus chinensis</i>	0.0155	0.9769	2.0119

### 2.2 优势植物生态位相似比与生态位重叠值

由表 3 可知,在群落中 15 种优势植物共组成 105 个种对,优势植物生态位相似比和重叠值均值分别为 0.13 和 0.17。其中,  $C_{ik} \geq 0.50$  有 7 个种对,占比 6.67%。  $0 < C_{ik} < 0.50$  有 59 个种对,占比 56.19%。  $C_{ik} = 0$  有 39 个种对,占比 37.14%。对生态位重叠值而言,  $O_{ik} \geq 0.50$  种对数为 10,占比 9.52%,其中香椿-杨梅(1.00)、枫香树-杉木(*Cunninghamia lanceolata*)(0.91)、桫欏-鹅掌柴(0.67)生态位重叠值较高。  $0 < O_{ik} < 0.50$  有 51 个种对,占总数的 48.57%,  $O_{ik} = 0$  有 44 个种对,占比 41.90%。小黄花茶与其它物种组成的 14 个种对中,  $C_{ik} \geq 0.50$  有 2 对,分别为小黄花茶-毛竹(0.52)和小黄花茶-桫欏(0.56);  $O_{ik} \geq 0.50$  有 3 对,分别为小黄花茶-毛竹(0.58)、小黄花茶-桫欏(0.59)和小黄花茶-毛桐(0.51)。整体上,优势物种间生态位相似及生态位重叠度较低;小黄花茶与毛竹、桫欏有较高的生态位相似性和生态位重叠程度。

### 2.3 优势植物总体联结性分析

对优势植物总体关联性进行分析可知,方差比率( $VR$ ) = 0.63,小于 1,表明群落优势物种总体关联性为负关联(表 4)。卡方临界值  $\chi^2(0.95, 32) = 20.07$ ,  $\chi^2(0.05, 32) = 46.19$ ,利用检验统计量  $W$  检测  $VR$  值偏离的显著性,  $W = 20.16$ ,介于  $\chi^2(0.95, 32)$  与  $\chi^2(0.05, 32)$  之间,表明小黄花茶群落 15 个优势物种总体联结性呈现为不显著负联结。

表 3 优势植物生态位相似比与重叠值

Table 3 The niche similarity ratio and overlap value of dominant plants

编号 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0.58	0.30	0.43	0.00	0.43	0.17	0.17	0.59	0.16	0.41	0.07	0.34	0.51	0.10
2	0.52		0.27	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	0.03	0.26	0.00	0.41	0.30	0.10
3	0.28	0.25		0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.23	0.37	0.00	0.36	0.20	0.50
4	0.29	0.05	0.28		0.15	0.09	0.00	0.00	0.19	0.29	0.59	0.14	0.03	0.25	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.06		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.49	0.00
6	0.16	0.00	0.00	0.05	0.00		0.00	0.00	0.11	0.00	0.07	0.30	0.00	0.00	0.00
7	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		1.00	0.11	0.00	0.29	0.00	0.00	0.23	0.00
8	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00		0.11	0.00	0.29	0.00	0.00	0.23	0.00
9	0.56	0.55	0.39	0.14	0.00	0.04	0.03	0.03		0.00	0.26	0.03	0.67	0.32	0.06
10	0.04	0.01	0.08	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.30	0.20	0.31	0.53	0.00	0.04	0.11	0.11	0.20	0.18		0.00	0.18	0.16	0.06
12	0.04	0.00	0.00	0.06	0.69	0.31	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00		0.00	0.45	0.00
13	0.32	0.47	0.22	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.16	0.00		0.18	0.03
14	0.44	0.28	0.16	0.22	0.18	0.00	0.08	0.08	0.33	0.00	0.15	0.18	0.21		0.31
15	0.12	0.19	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.11	0.00	0.09	0.27	

1—15 为物种编号同表 2,表中左下方为生态位相似比,右上方为生态位重叠值

表 4 优势植物总体联结性

Table 4 The overall associations of dominant plants

方差比率 Variance ratio (VR)	检验统计量 Statistic (W)	卡方临界值 $\chi^2$ threshold (0.95, 32)	卡方临界值 $\chi^2$ threshold(0.05, 32)	检验结果 Results
0.63	20.16	20.07	46.19	不显著负联结

## 2.4 优势植物种间联结性分析

### 2.4.1 卡方检验

由表 5 可知,15 种优势木本植物组成的 105 个种对中,有 42 对呈正联结,占比 40%,负联结有 63 对,占比 60%,正负关联比为 0.67,显著与不显著之比为 0.11。其中,呈显著正联结的有 4 对,占比 3.81%。呈不显著正联结的有 38 对,占比 36.19%。有 6 对呈显著负联结,占比 5.71%。不显著负联结的种对数有 57 对,占比 54.29%。小黄花茶与其它物种组成的 14 个种对中,有 3 个种对呈显著正联结(小黄花茶-香椿、小黄花茶-杨梅和小黄花茶-黄葛树),1 个种对呈显著负联结(小黄花茶-枫香树),其余 10 个种对之间联结性均不显著。卡方检验结果表明,优势种之间大多呈不显著负联结;小黄花茶与多数物种联结性较弱。

### 2.4.2 联结系数 AC

由图 2 可知,105 个种对中,正联结种对数为 42,负联结种对数为 63,占比分别为 40%和 60%,正负关联比为 0.67。其中联结系数  $AC \geq 0.67$ (极显著正联结)的种对数为 16,占比 15.24%。 $0.33 \leq AC < 0.67$ (显著正联结)有 5 对,占比 4.76%。 $0 \leq AC < 0.33$ (不显著正联结)有 21 对,占比 20%。 $-0.33 \leq AC < 0$ (不显著负联结)有 12 对,占比 11.43%。 $-0.67 \leq AC < -0.33$ (显著负联结)有 4 对,占比 3.81%。 $AC < -0.67$ (极显著负联结)有 47 对,占比 44.76%。联结系数 AC 结果显示,优势物种之间负联结性显著大于正联结性;小黄花茶与其它物种组成的 14 个种对中,有 4 个种对呈极显著负关联(小黄花茶-樟,小黄花茶-枫香树,小黄花茶-杉木,小黄花茶-毛桐),其余 10 个种对呈极显著正关联。

表 5 优势植物种间联结性 $\chi^2$ 检验表

Table 5 The inspection table of interspecific associations  $\chi^2$  of dominant plants

编号 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	+													
3	+	+												
4	-	-	+											
5	-*	-	-	+										
6	+	-	-	+	-									
7	+*	-	-	-	-*	-								
8	+*	-	-	-	-*	-	+*							
9	+	+	-	-	-	+	+	+						
10	+*	+	+	+	-*	-	-*	-*	-					
11	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+				
12	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-			
13	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-		
14	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	-	
15	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

1—15 为物种编号同表 2; +\* 为显著正联结; + 为不显著正联结; -\* 为显著负联结; - 为不显著负联结

2.4.3 共同出现百分率 PC

为了避免 AC 值受到 d 值(两种植物都不出现的样方数)影响造成的偶然误差, 选用 PC 值进一步分析种间联结性。由图 3 可知,  $PC \geq 0.83$  (极显著正联结) 的种对仅有香椿与杨梅, 占比 0.95%。  $0.50 \leq PC < 0.83$  (显著正联结) 有 5 对, 占比 4.76%, 分别为小黄花茶-毛竹、小黄花茶-桫欏、毛竹-桫欏、毛竹-鹅掌柴、枫香树-杉木。  $0.17 \leq PC < 0.50$  (不显著正联结) 有 27 对, 占比 25.71%。  $PC < 0.17$  (无联结性) 有 72 对, 占比 68.57%。小黄花茶与其它物种组成的 14 个种对中, 有 2 个种对呈显著正联结(小黄花茶-毛竹和小黄花茶-桫欏), 其余 12 个种对之间正联结性均较弱。PC 结果表明, 优势种之间大多呈无关联性; 小黄花茶与其它物种间关联性较弱。

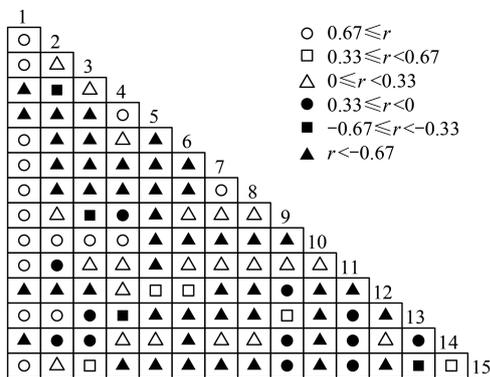


图 2 优势植物种间联结性 AC 值半矩阵图

Fig.2 Semi-matrix diagram of AC value of interspecific associations of dominant plants

AC: 联结系数 Association coefficient; 1: 小黄花茶; 2: 毛竹; 3: 慈竹; 4: 樟; 5: 枫香树; 6: 赤杨叶; 7: 香椿; 8: 杨梅; 9: 桫欏; 10: 黄葛树; 11: 杜茎山; 12: 杉木; 13: 鹅掌柴; 14: 毛桐; 15: 盐肤木; ○ 为极显著正联结; □ 为显著正联结; △ 为不显著正联结; ● 为不显著负联结; ■ 为显著负联结; ▲ 为极显著负联结

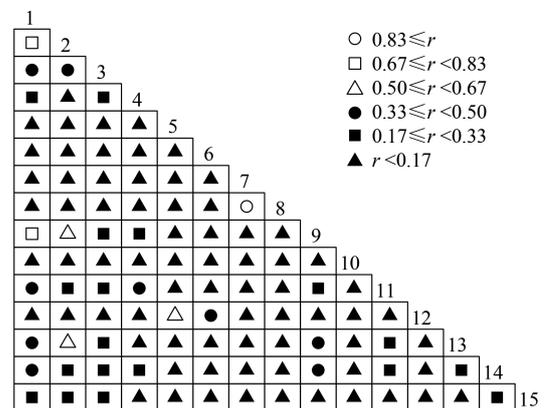


图 3 优势植物种间联结性 PC 值半矩阵图

Fig.3 Semi-matrix diagram of PC value of interspecific associations of dominant plants

PC: 共同出现百分率 Cooccurrence percentage; 1—15 为物种编号同图 2; ○ 为极显著正联结; □ △ 为显著正联结; ● ■ 为不显著正联结; ▲ 为无联结性

## 2.5 优势植物种间联结与生态位回归分析

将 15 个优势物种的 *AC* 值(种间联结系数)和 *PC* 值(共同出现百分率)分别与相应的生态位相似比和生态位重叠值进行回归分析。由图 4 可知,线性回归图表明优势物种的 *AC* 值、*PC* 值与生态位相似比、生态位重叠值之间存在极显著正相关关系( $P < 0.001$ ),总体表现为 15 个优势植物的种间正(负)联结性越强,生态位相似性与重叠程度越高(低)。

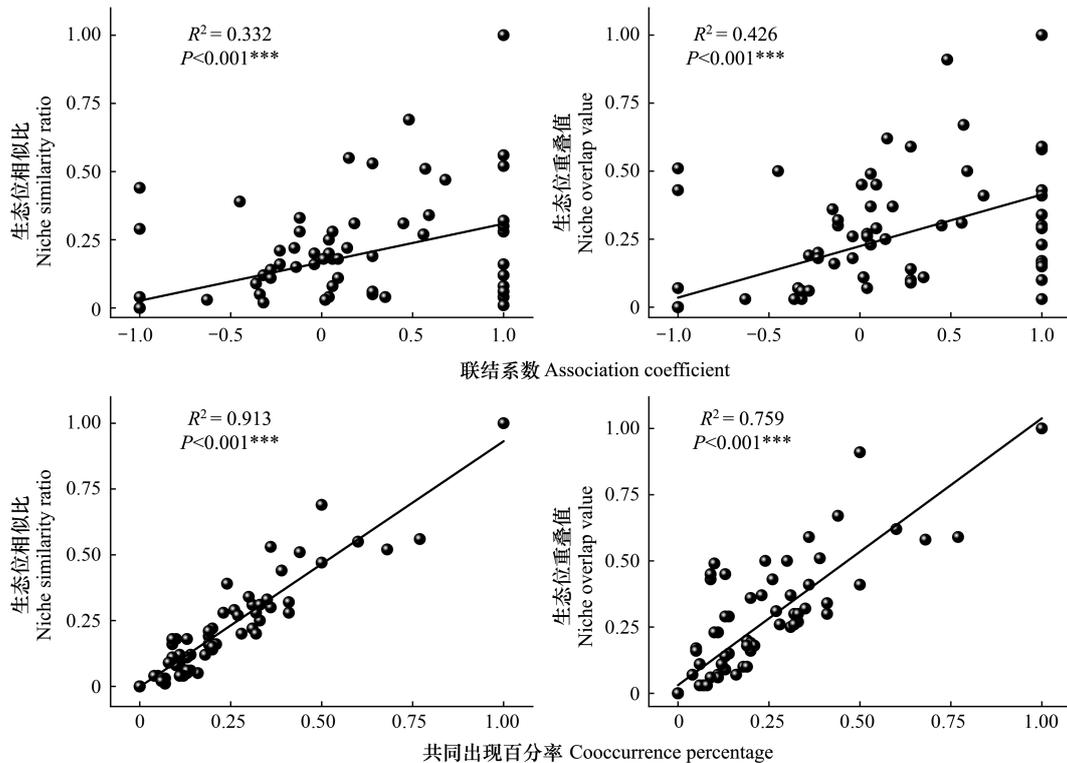


图 4 优势植物种间联结与生态位相关性回归分析

Fig.4 Regression analysis between interspecific associations and niches among dominant plant species

## 3 讨论

### 3.1 小黄花茶种群生态位

Schellenberger Costa 等<sup>[36]</sup>认为重要值和生态位较大的物种具备更强的资源利用能力和环境胁迫适应能力。本研究中,小黄花茶较其他伴生优势植物具有最大的重要值和生态位宽度值(表 2),表明小黄花茶在该生境下的群落内部具有较强的竞争适应能力,对维持群落内部环境以及稳定性起重要作用。然而,Serrano 等<sup>[37]</sup>却认为濒危物种通常具有独特的生境需求,生态位较狭窄,这与本研究中小黄花茶具有较宽的生态位不一致,其原因可能由于本研究是基于 8 个局域生境对小黄花茶进行典型样地调查,从而扩大了该物种在区域尺度上的生态位宽度所致<sup>[38]</sup>。代玉烜等<sup>[39]</sup>采用最大熵生态位模型对小黄花茶潜在适应性进行预测研究,发现小黄花茶适应于长江流域黔、川、渝及滇部分区域,意味着该物种具有较宽生态位的潜在适应性。据文献记载,赤水桫椤国家级自然保护区境内(主要分布于闷头溪)小黄花种群数量从 2005 年 1708 株下降到 2016 年 800 余株<sup>[40-42]</sup>,本此调查发现该生境集中分布的 8 个局域点留存的小黄花茶种群数量仅为 545 株,表明小黄花茶种群数量呈急速衰退的趋势。因此,即便小黄花茶具有较宽生态位的潜在适应性<sup>[39]</sup>,但种间竞争挤压,也可能影响小黄花种群数量的维持。此外,曾洪和陈小红<sup>[43]</sup>认为特定环境下濒危物种能在群落中占据优势地位,但种群结构并不健康,仍然面临着自然更新困难的窘境。本研究前期通过小黄花茶种群数量结构和存

活曲线分析发现该种群趋近于 Deevy- I 型,属衰退型种群<sup>[22]</sup>,该区域小黄花茶种群现存幼苗数量严重不足,种群受干扰压力大。由此可见,具有较宽生态位并不代表小黄花茶是生态位泛化种,其可能仍然面临较大的生存压力,种群保育急需开展。再有,生态位较宽的物种之间往往更容易占据相同的资源维度,从而产生较高的生态位相似及生态位重叠现象<sup>[44]</sup>;Costa-Pereira 等<sup>[45]</sup>认为生态位相似和生态位重叠度越高的两个物种,对同等级共享资源的利用方式越相似,在空间配置分布上的竞争潜力越大。本研究中,小黄花茶与毛竹和桫欏之间有较高的生态位相似性和生态位重叠度(表 3),表明小黄花茶与毛竹和桫欏之间可能存在较大的资源竞争现象。毛竹生长快、易成林、竞争力强<sup>[42]</sup>,桫欏是赤水桫欏自然保护区主要的旗舰保护物种,而毛竹等竹类在该区域快速扩张,极大程度上抑制了小黄花茶和桫欏在光照和养分的生态位空间,这可能是导致小黄花茶种群数量衰退的重要因素。因此,对毛竹合理经营和管理是保护该生境小黄花茶的重要措施。

### 3.2 小黄花茶群落的种间联结性

本研究联结系数  $AC$  结果发现,小黄花茶与其它 14 个物种形成的种对呈显著正联结的数量多于  $\chi^2$  检验和  $PC$  分析数量(表 5; 图 2,3)。引起这一现象的原因可能是小黄花茶在 8 个集中分布的局域小生境高频度出现增加了小黄花茶与其它物种出现在同一方中的概率,从而扩大了小黄花茶与其它物种间的联结显著度,这种现象与叶权平等<sup>[46]</sup>所提到联结系数  $AC$  会扩大种对间的联结显著度一致。此外,本研究还发现小黄花茶在其局域群落与伴生优势物种间关联性较弱,种间联结程度松散(表 5; 图 2,3)。群落的种间关联受到种间竞争、环境变化、研究尺度等因素的制约<sup>[47-48]</sup>。赤水桫欏自然保护区地势起伏大,地表形态复杂多样<sup>[49]</sup>,物种长期适应不同微环境,对不同生境资源利用的差异促使物种生态位分化<sup>[50]</sup>。因此,种间关系趋于相对独立状态,从而导致小黄花茶在该保护区局域生境群落中与其它物种关联性松散。通常情况下,群落的成熟度越高,植物种类组成越趋于完善和稳定,种间关系趋于正联结,从而促进更多物种共存<sup>[14]</sup>。回归分析发现,小黄花茶群落种间联结性与生态位相似性及重叠度呈极显著正相关性(图 4),而小黄花茶群落各优势物种的种间联结分析呈不显著负联结(表 5; 图 2,3),优势物种间的生态位相似性和重叠程度均较低(表 3),表明小黄花茶群落各优势种种间关系松散且群落不稳定。该结果与刘益鹏等<sup>[17]</sup>研究观光木和李丘霖等<sup>[51]</sup>研究桫欏等珍稀濒危植物群落生态位和种间联结性的结果一致。

### 3.3 小黄花茶种群保育与研究展望

本研究的 8 个局域生境小黄花茶种群在空间上构成了该保护区小黄花茶复合种群,局域种群分散导致基因交流受阻,增加了种群灭绝风险。此外,因该区域属保护区竹海公园内,毛竹种群快速扩张增强了小黄花茶生态位资源空间压力,竹林经营干扰也进一步加剧其种群衰退趋势。基于本研究结果,小黄花茶种群与其优势伴生种的种间关联性弱,优势物种间呈相对独立分布,群落稳定性低。采取有效措施对小黄花茶进行种质资源保护已势不可缓。可通过排除干扰,加强生境保护,促进小黄花茶种群自然更新。一方面,针对就地保护,可采取适度疏伐同小黄花茶生态位相似性和重叠度高(如毛竹)以及负关联较强的物种(如枫香树),减缓种间竞争压力,使之形成相对稳定的种间关系,提高小黄花茶群落的稳定性;另一方面,针对迁地保护,可选择与小黄花茶生态位重叠度较小且种间正关联较强的物种进行群落配置以促进群落稳定性提升。再有,濒危植物种群衰退的因素是多方面的。本研究仅采用典型样方法对 8 个局域群落进行调查研究,所获得的结果解释了局域群落内物种之间的相互作用,但一定程度上限制了小黄花茶非集中分布生境群落与小黄花茶的功能关系。因此,下一步的研究应从基础生物学和生态学角度研究小黄花茶生殖生理、种群更新与繁殖障碍,并结合岛屿地理生物学更大尺度探索小黄花茶种群濒危衰退机制。

## 4 结论

在本研究中,小黄花茶在群落中具有最大的重要值及生态位宽度值,与其它伴生物种的生态位相似性及重叠程度均较低且种间联结性较弱。优势种生态位相似性及重叠程度均较低;群落总体联结( $VR$ 、 $W$ )与种间联结( $\chi^2$ 、 $AC$ 、 $PC$ )分析结果均表明各优势物种间呈不显著负联结。线性回归分析显示优势物种的  $AC$  值、 $PC$

值与生态位相似比、生态位重叠值之间呈极显著正相关关系,表现为优势物种的种间正(负)联结性越强,生态位相似性与重叠程度越高(低)。这些结果表明,赤水桫欏国家级自然保护区分布的小黄花茶在其局域群落与伴生的优势物种间关联性松散,群落各优势种群间相对独立,群落稳定性较弱。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] Mouillot D, Bellwood D R, Baraloto C, Chave J, Galzin R, Harmelin-Vivien M, Kulbicki M, Lavergne S, Lavorel S, Mouquet N, Paine C E, Renaud J, Thuiller W. Rare species support vulnerable functions in high-diversity ecosystems. *PLoS Biology*, 2013, 11(5): e1001569.
- [ 2 ] Huang Y, Zhou N, Yang M, Shen Y X, Zhang D Q. A comparative study of the population genetics of wild and cultivated populations of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* based on amplified fragment length polymorphism markers. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(18): 10707-10722.
- [ 3 ] Dueñas M A, Hemming D J, Roberts A, Diaz-Soltero H. The threat of invasive species to IUCN-listed critically endangered species: a systematic review. *Global Ecology and Conservation*, 2021, 26: e01476.
- [ 4 ] Ye P C, Zhang G F, Zhao X, Chen H, Si Q, Wu J Y. Potential geographical distribution and environmental explanations of rare and endangered plant species through combined modeling: a case study of Northwest Yunnan, China. *Ecology and Evolution*, 2021, 11(19): 13052-13067.
- [ 5 ] Kosch T A, Waddle A W, Cooper C A, Zenger K R, Garrick D J, Berger L, Skerratt L F. Genetic approaches for increasing fitness in endangered species. *Trends in Ecology & Evolution*, 2022, 37(4): 332-345.
- [ 6 ] 张建亮, 郭子良, 钱者东, 吕莹莹, 崔国发. 珍稀濒危植物长白松(*Pinus sylvestris* var. *sylvestriiformis*)天然种群生存压力. *生态学报*, 2021, 41(24): 9581-9592.
- [ 7 ] 徐佳文, 石福习, 张朝晖, 万松泽, 吴盼盼, 刘姗姗, 毛榕. 中亚热带濒危植物毛红椿和南方红豆杉种内与种间竞争差异. *应用生态学报*, 2020, 31(1): 1-8.
- [ 8 ] Soliveres S, Maestre F T, Berdugo M, Allan E. A missing link between facilitation and plant species coexistence: nurses benefit generally rare species more than common ones. *Journal of Ecology*, 2015, 103(5): 1183-1189.
- [ 9 ] Holmes G D, James E A, Hoffmann A A. Limitations to reproductive output and genetic rescue in populations of the rare shrub *Grevillea repens* (Proteaceae). *Annals of Botany*, 2008, 102(6): 1031-1041.
- [ 10 ] van der Putten Wim H. A multitrophic perspective on functioning and evolution of facilitation in plant communities. *Journal of Ecology*, 2009, 97(6): 1131-1138.
- [ 11 ] McIntire E J B, Fajardo A. Facilitation as a ubiquitous driver of biodiversity. *New Phytologist*, 2014, 201(2): 403-416.
- [ 12 ] Yao L J, Xu Y K, Jiang B, Wu C P, Yuan W G, Zhu J R, Li T T, Wang Z G. Competition restricts the growth, development, and propagation of *Carpinus tientaiensis*: a rare and endangered species in China. *Forests*, 2021, 12(4): 503.
- [ 13 ] Pulla S, Suresh H S, Dattaraja H S, Sukumar R. Multidimensional tree niches in a tropical dry forest. *Ecology*, 2017, 98(5): 1334-1348.
- [ 14 ] Ma Y M, Li Q H, Pan S P, Liu C, Han M S, Brancelj A. Niche and interspecific associations of *Pseudoanabaena limnetica* - Exploring the influencing factors of its succession stage. *Ecological Indicators*, 2022, 138: 108806.
- [ 15 ] Grinnell J. The niche-relationships of the California thrasher. *The Auk*, 1917, 34(4): 427-433.
- [ 16 ] Gu L, O'Hara K L, Li W Z, Gong Z W. Spatial patterns and interspecific associations among trees at different stand development stages in the natural secondary forests on the Loess Plateau, China. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(11): 6410-6421.
- [ 17 ] 刘益鹏, 叶兴状, 叶利奇, 陈绪辉, 郑世群, 陈世品, 张国防, 刘宝. 观光木群落优势树种生态位和种间联结. *应用生态学报*, 2022, 33(10): 2670-2678.
- [ 18 ] 黄祥童, 王绍先, 黄炳军, 尹航, 崔凯峰, 赵伟, 范宇光, 顾德峰. 珍稀植物对开蕨与其伴生物种的联结性及群落稳定性. *生态学报*, 2015, 35(1): 80-90.
- [ 19 ] 张宏达, 曾范安. 山茶属一新组—小黄花茶组. *中山大学学报: 自然科学版*, 1982, 21(3): 72-73.
- [ 20 ] 郭能彬, 邓佑华, 刘清炳. 小黄花茶生物学特性观察及初步研究. *贵州环保科技*, 2006, 12(1): 18-20.
- [ 21 ] 邹天才, 周洪英, 张著林, 金平. 贵州特有植物及其种质保存研究. *贵州科学*, 1994, 12(2): 41-46.
- [ 22 ] 白小节, 申开平, 穆君, 翁涛, 臧丽鹏, 任闻达, 韩勛, 李青, 谭淇毓, 何跃军. 濒危植物小黄花茶种群数量结构与生存潜力分析. *热带亚热带植物学报*, 2022, 30(5): 718-726.
- [ 23 ] 汪豪. 珍稀濒危植物小黄花茶(*Camellia luteiflora* Li ex H.T.Chang)的遗传多样性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- [ 24 ] 金塘, 代玉焯, 王东, 徐海霞, 王丽. 小黄花茶(*Camellia luteiflora* Y.K.Li)花和叶中挥发性成分的分析. *现代食品科技*, 2021, 37(7): 250-258, 249.
- [ 25 ] 邹天才. 贵州特有植物小黄花茶的物种起源探讨. *贵州师范大学学报: 自然科学版*, 2002, 20(1): 6-10.
- [ 26 ] 唐凤, 汪建文, 刘海燕, 邹天才. 小黄花茶种子特性及种群生态特征的研究. *种子*, 2021, 40(5): 71-77.

- [27] 张婷, 周晓玲, 刘海燕, 杨松, 邹天才. 小黄花茶扦插繁殖技术研究. 种子, 2010, 29(4): 86-89.
- [28] 杨广斌, 李亦秋, 屠玉麟. 赤水桫欏自然保护区生态环境调查与分析. 林业资源管理, 2011(5): 94-100.
- [29] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 生态学报, 1995, 15(3): 268-277.
- [30] Shannon C E, Weiner W. The Mathematical Theory of Communication; Unknown Distance Function. Urbana; University of Illinois Press, 1949.
- [31] Levins R. Evolution in changing environments; some theoretical explorations. Princeton, NJ; Princeton University Press, 1968
- [32] Schoener T W. Resource partitioning in ecological communities. Science, 1974, 185(4145): 27-39.
- [33] Pianka E R. The structure of lizard communities. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4: 53-74.
- [34] Schluter D. A variance test for detecting species associations, with some example applications. Ecology, 1984, 65(3): 998-1005.
- [35] 王伯荪, 彭少麟. 南亚热带常绿阔叶林种间联结测定技术研究——I. 种间联结测式的探讨与修正. 植物生态学与地植物学丛刊, 1985, 9(4): 274-285.
- [36] Schellenberger Costa D, Gerschlauser F, Kiese R, Fischer M, Kleyer M, Hemp A. Plant niche breadths along environmental gradients and their relationship to plant functional traits. Diversity and Distributions, 2018, 24(12): 1869-1882.
- [37] Serrano H C, Pinto M J, Branquinho C, Martins-Loução M A. Ecology as a tool to assist conservation of a rare and endemic Mediterranean *Plantago* species. Frontiers in Ecology and Evolution, 2021, 9: 614700.
- [38] 张华雨. 濒危植物小黄花茶(*Camellia luteoflora* Li ex H.T.Chang)的群落特征和基于 ITS 序列的系统进化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [39] 代玉烜, 金塘, 徐海霞, 王东, 王丽. 基于 MaxEnt 模型的小黄花茶在中国的适生区域研究. 四川大学学报: 自然科学版, 2021, 58(2): 189-198.
- [40] 刘清炳, 刘邦友, 梁盛. 小黄花茶濒危原因及对策探讨. 贵州环保科技, 2005, 11(3): 18-20.
- [41] 王君, 刘海燕, 邹天才. 贵州特有植物小黄花茶的种群生态学研究. 贵州农业科学, 2010, 38(11): 59-62.
- [42] 张华雨, 宗秀虹, 王鑫, 白小节, 梁盛, 邓洪平. 濒危植物小黄花茶种群结构和生存群落特征研究. 植物科学学报, 2016, 34(4): 539-546.
- [43] 曾洪, 陈小红. 极小种群野生植物圆叶玉兰的生态位研究. 四川农业大学学报, 2017, 35(2): 220-226.
- [44] Suárez-Mota M E, Villaseñor J L. Ecological niche overlap among species of the genus *Zaluzania* (Asteraceae) from the dry regions of Mexico. Plant Ecology and Evolution, 2020, 153(3): 337-347.
- [45] Costa-Pereira R, Araújo M S, Souza F L, Ingram T. Competition and resource breadth shape niche variation and overlap in multiple trophic dimensions. Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences, 2019, 286(1902): 20190369.
- [46] 叶权平, 张文辉, 于世川, 薛文艳. 桥山林区麻栎群落主要乔木种群的种间联结性. 生态学报, 2018, 38(9): 3165-3174.
- [47] Liu, Zhu, Wang, Ma, Meng. Species association of the dominant tree species in an old-growth forest and implications for enrichment planting for the restoration of natural degraded forest in subtropical China. Forests, 2019, 10(11): 957.
- [48] Jiang C C, Fu J Q, Wang Y Q, Chai P T, Yang Y D, Mi X C, Yu M J, Ma K P, Chen J H. The habitat type and scale dependences of interspecific associations in a subtropical evergreen broad-leaved forest. Forests, 2022, 13(8): 1334.
- [49] 蒋长洪, 陈茗杨, 漆基海, 徐德静, 吴邦利, 郭云, 何跃军. 黔北丹霞地貌桫欏群落优势木本植物的种间联结性. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2021, 38(3): 114-120.
- [50] 邹顺, 周国逸, 张倩媚, 孟泽, 褚国伟, 徐姗, 夏艳菊. 1992—2015 年鼎湖山季风常绿阔叶林群落种间关联动态. 生态学报, 2019, 39(17): 6362-6371.
- [51] 李丘霖, 宗秀虹, 邓洪平, 万海霞, 吴洪英, 梁盛, 刘邦友. 赤水桫欏群落乔木层优势物种生态位与种间联结性研究. 西北植物学报, 2017, 37(7): 1422-1428.