

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.24106

CSTR: 32231.14.PSJ.2095-0837.24106

郭昊, 赵厚本, 高亿波, 冯慧芳, 周光益, 李兆佳, 宝音满达, 皮志豪, 王旭. 南岭中段森林优势树种及其生态位随海拔梯度变化特征[J]. 植物科学学报, 2024, 42 (5): 582-594

Guo H, Zhao HB, Gao YB, Feng HF, Zhou GY, Li ZJ, BaoYin MD, Pi ZH, Wang X. Characteristics of dominant tree species and their niches in the middle section of the Nanling Mountains with altitudinal gradient[J]. *Plant Science Journal*, 2024, 42 (5): 582-594

## 南岭中段森林优势树种及其生态位随海拔梯度变化特征

郭昊<sup>1,3</sup>, 赵厚本<sup>2,3</sup>, 高亿波<sup>4</sup>, 冯慧芳<sup>4</sup>, 周光益<sup>2,3</sup>, 李兆佳<sup>2,3</sup>,  
宝音满达<sup>2,3</sup>, 皮志豪<sup>1,3</sup>, 王旭<sup>2,3\*</sup>

(1. 海南大学, 海口 570228; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 3. 南岭北江源森林生态系统国家定位观测站, 广州 510520; 4. 广东省森林资源保育中心, 广州 510130)

**摘要:** 本研究在南岭中段海拔 400~1 800 m 天然林保存良好的区域建立 45 块生态监测样地, 并根据这些样地的海拔分布范围和树种组成归类为 4 种森林植被类型。通过调查评估关键生态位特征参数指标及生态位资源利用假说的论证, 研究不同海拔梯度优势树种的差异及其生态位特征。结果显示: (1) 不同海拔梯度优势种存在一定差异性, 海拔高差越大, 优势种组成差异越明显。(2) 高海拔的常绿阔叶矮林区域优势树种对资源需求具有高度的一致性, 种间竞争最激烈。(3) 优势树种的生态位宽度与其重要值呈弱正相关, 与重要值变异系数则呈显著负相关; 生态位宽度与生态位的重叠和相似性之间存在一定的联系, 但这种联系无明显的规律。(4) 重要值和生态位宽度较大且变异系数较小的树种为甜槠 (*Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst) 和木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ.), 提示这几个树种是南岭中段地区主要的建群树种。(5) 中低海拔区域的林分对资源利用方式的划分较符合生态位理论资源利用假说中的随机生态位边界假说; 高海拔区域的林分对资源利用方式符合生态位优先占领假说。

**关键词:** 南岭; 生态位特征; 资源竞争; 生态位假说

中图分类号: Q948.1

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837 (2024) 05-0582-13

## Characteristics of dominant tree species and their niches in the middle section of the Nanling Mountains with altitudinal gradient

Guo Hao<sup>1,3</sup>, Zhao Houben<sup>2,3</sup>, Gao Yibo<sup>4</sup>, Feng Huifang<sup>4</sup>, Zhou Guangyi<sup>2,3</sup>, Li Zhaojia<sup>2,3</sup>,  
BaoYin Manda<sup>2,3</sup>, Pi Zhihao<sup>1,3</sup>, Wang Xu<sup>2,3\*</sup>

(1. College of Forestry, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 3. Beijiangyuan National Forest Ecosystem Research Station, Nanling Mts, Guangzhou 510520, China; 4. Guangdong Forest Resources Conservation Center, Guangzhou 510130, China)

**Abstract:** This study established 45 ecological monitoring plots in well-preserved natural forests within an altitudinal range of 400–1 800 m in the middle section of the Nanling Mountains. These plots were classified into four forest vegetation types based on elevation range and species composition. This study assessed the differences in dominant tree species and their niche characteristics along various altitudinal gradients by surveying key ecological niche parameters and evaluating the niche resource utilization hypothesis. Results indicated that: (1) Dominant species varied at different altitudes, with more pronounced differences in species com-

收稿日期: 2024-04-22, 接受日期: 2024-08-22。

基金项目: 广东省林木种质资源调查项目 (GDZZDC20228702); 广东省 2021 年国家公园建设专项 (800354)。

作者简介: 郭昊 (1997–), 男, 硕士研究生, 研究方向为森林生态学 (E-mail: 752499627@qq.com)。

\* 通信作者 (Author for correspondence. E-mail: cawangxu111@caf.ac.cn)。

position observed at higher altitudinal differences; (2) In the evergreen broad-leaved dwarf forest at higher altitudes, dominant species exhibited a high degree of uniformity in resource requirements, accompanied by intense interspecific competition; (3) A weak positive correlation was found between the niche width of dominant species and their importance value, while a significant negative correlation was observed with the coefficient of variation of importance value. Although niche width was related to niche overlap and similarity, no clear pattern was established; (4) Species with higher importance values, larger niche widths, and smaller coefficients of variation included *Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch, *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst, and *Schima superba* Gardn. et Champ., suggesting that these species are the primary constructive species in the middle section of the Nanling Mountains. These findings provide theoretical support for the sustainable management of forest ecosystems and the conservation of plant diversity in the middle section of the Nanling Mountains and beyond; (5) The division of resource utilization in forest stands at middle and low altitudes aligned more closely with the random niche boundary hypothesis in the resource utilization hypothesis of niche theory; in high-altitude areas, the resource utilization mode of forest stands conformed to the niche priority occupation hypothesis.

**Key words:** Nanling Mountains; Niche characteristics; Resource competition; Niche hypothesis

生态位 (Niche) 是衡量物种所需环境资源的关键指标<sup>[1]</sup>。自 Grinnell<sup>[2]</sup> 在 1917 年定义生态位概念以来, 其研究便成为生态学领域研究的热点。森林群落生态位研究中, 生态位宽度、生态位重叠与生态位相似性作为 3 个关键的度量反映了群落内物种间关系及与环境关系的动态变化<sup>[3]</sup>。生态位宽度作为衡量物种资源利用的重要指标, 反映物种对环境资源的利用程度, 也预示了其生态适应性与分布幅度<sup>[4]</sup>; 生态位重叠反映了物种在竞争或共享同级环境资源时的生态关系<sup>[5]</sup>; 生态位相似性则反映了不同物种在环境资源利用方面的相似性水平<sup>[6]</sup>。森林群落生态位研究中群落内部物种资源竞争及利用情况是研究的重要内容, 其中在资源利用方面以随机生态位边界假说和生态位优先占领假说为主。随机生态位边界假说通过假定种的生态位多维体积的边界, 各物种通过随机方式占据生态位的多维空间利用资源, 根据物种在群落内相对重要性大小排布, 依次形成一条平坦的曲线; 生态位优先占领假说通过假定生态位多维空间的大小, 主要由竞争能力较强的物种优先占领较大生态位, 其余物种依次占据剩余生态位, 各物种在群落内的相对重要性大小排布形成几何级数的陡直曲线<sup>[7]</sup>。探究群落生态位特征并对生态位空间理论的假说进行检验, 对于深入理解自然群落内物种间的共存与竞争机制至关重要。

目前对于不同森林类型的群落生态位特征已开展大量的研究<sup>[5, 8-10]</sup>, 这些研究多基于优势种群

生态位及各生态位指数间的相互关系, 对理解森林优势种群物种维持机制有一定意义, 但海拔梯度变化对生态位特征影响的研究鲜有报道<sup>[11-13]</sup>。鉴于物种生态位与环境间的复杂关系及区域间的特异性, 针对不同地区开展环境梯度的变化对区域生态位特征的影响十分必要。

南岭地区作为连接南亚热带和中亚热带的生态过渡区域, 保存了世界上同纬度地区最为完整的亚热带森林植被带谱系列<sup>[14]</sup>, 沿海拔梯度由低至高可见多种植被类型分布<sup>[15]</sup>。海拔作为一个综合性指标, 综合了水分、温度、光照和土壤肥力等多种环境因素<sup>[16]</sup>, 对生物多样性及群落结构具有根本性影响。对此本研究提出两个科学问题: (1) 各生态位特征指标间存在怎样的内在联系和相关性? (2) 南岭中段森林优势种生态位垂直分布各符合何种生态位资源利用假说? 通过对比分析不同海拔梯度下南岭中段地区森林优势树种各生态位指标, 揭示优势树种组成及其生态位的变化规律, 探讨海拔梯度对优势树种的影响机制, 论证森林群落生态位空间理论, 以期在南岭中段森林群落对于环境资源的响应研究以及南岭山地森林生态系统的可持续发展和植物物种多样性保护提供理论支持。

## 1 研究区概况

本研究区域位于广东省南岭国家级自然保护区 (24°37'~24°57'N, 112°30'~113°04'E)。该

区域属中亚热带湿润性季风气候,年平均温度 17.7℃,多年平均降水量为 1 705 mm<sup>[17]</sup>。区域的成土母岩以花岗岩、砂页岩和石灰岩为主<sup>[18]</sup>。随着海拔梯度变化,土壤类型依次呈现红壤、山地红壤、山地黄壤以及山地灌丛草甸土等<sup>[19]</sup>。森林植被资源丰富,主要植被类型为亚热带常绿阔叶林和针叶林<sup>[20]</sup>。随海拔高度递增,植被类型依次为沟谷常绿阔叶林(<800 m)、山地常绿阔叶林(800~<1 200 m)、针阔混交林(1 200~<1 500 m)、常绿阔叶矮林(≥1 500 m)<sup>[15]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置与调查方法

于 2022 年 2-6 月,在南岭中段海拔 400~1 800 m,天然林保存完整的地段,按 100 m 海拔梯度,每个梯度 3 个重复,共设置植物样地 45 块。样地基本沿广东第一峰(海拔 1 902 m)至南水水库(海拔 212 m)一线设置。每个海拔梯度选择人为干扰较少且能代表该海拔段植被类型的天然林设置 3 个重复样地。样地采用长方形或正方形,最小边长>样地内平均树高的 2.5 倍。样地沿山体走向设置,不跨过道路河流,不跨不同林分,距离道路或林缘>20 m,重复样地间距离>30 m。样地采用 PVC 管和尼龙绳分割成 10 m×10 m 的小样方以方便调查,PVC 管放样时采用 RTK 确定位置,放样误差控制在<0.1 m。根据南岭地区沿海海拔梯度植被类型的不同将 15 个梯度等级归类为 4 个森林植被类型(表 1),分别为沟谷常绿阔叶林(300~700 m)、山地常绿阔叶林(800~1 100 m)、针阔混交林(1 200~1 500 m)和常绿阔叶矮林(1 600~1 800 m)。在所选样地范围内,对所有胸径在 1 cm 及以上的本本植物进行精确的地理位置标记,并鉴定其物种名称。调查其胸径、树高、冠幅等关键生长参数,记录该样地的海拔、经纬度以及坡位坡向等环境特征。

### 2.2 数据处理与统计分析

#### 2.2.1 物种重要值及变异系数

重要值计算<sup>[21]</sup>:

$$IV = (RA + RF + RD)/3 \times 100\%$$

式中,IV 为物种重要值,RA、RF 和 RD 分别为相对多度、相对频度和相对显著度。

物种重要值变异系数计算<sup>[12]</sup>:

$$CV = SD/M$$

式中,CV 为物种重要值变异系数,SD 为各物种重要值的标准差,M 为各物种重要值的平均值。

#### 2.2.2 生态位宽度

生态位宽度分别采用 Levins 生态位宽度( $B_L$ )<sup>[22]</sup>和 Shannon-Wiener 生态位宽度( $B_{SW}$ )<sup>[23]</sup>来计算:

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

$$B_{SW} = - \sum_{j=1}^r P_{ij} \cdot \ln P_{ij}$$

式中, $P_{ij} = n_{ij}/N_{ij}$ , $N_{ij}$  为物种  $i$  在所有资源位重要值总和, $n_{ij}$  为物种  $i$  在资源位  $j$  的重要值, $r$  为样方数。

#### 2.2.3 生态位重叠指数

生态位重叠采用 Pianka<sup>[24]</sup> 生态位重叠度公式来计算:

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

式中, $O_{ih}$  为物种  $i$  和物种  $h$  的生态位重叠度指数。

#### 2.2.4 生态位相似指数

生态位相似指数采用  $C_{ih}$  计算公式计算<sup>[25]</sup>:

$$C_{ih} = 1 - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^r |P_{ij} - P_{hj}|$$

式中, $C_{ih}$  为物种  $i$  和物种  $h$  的生态位相似性指数。

#### 2.2.5 数据处理

分别采用 Excel 2016 和 R4.1.0 中的 spaa 包进行计算物种重要值和生态位宽度、生态位重叠指数、生态位相似指数。同时使用 R 软件中的 vegan 包进行非度量多维尺度分析(NMDS)和典范对应分析(CCA)排序。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同海拔梯度优势树种重要值及其变异性

根据各群落类型特征,15 个海拔梯度群落可划分为 4 个植被类型:即沟谷常绿阔叶林、山地常绿阔叶林、针阔混交林和常绿阔叶矮林。45 块植物样地共记录乔木树种 263 种,根据物种重要值排序选取前 15 的树种作为该区域的优势树种进行生态位特征分析。从表 2 中可以看出,所有样地内各树种重要值由大到小排序依次为:甜槠

表 1 样地基本信息  
Table 1 Basic information of sample plots

样地编号 Sampling site	面积 Area / m <sup>2</sup>	海拔 Altitude / m	坡度 Slope / °	坡向 Aspe	林分起源 Stand origin
350-1	1 200	342	10	东	次生林
350-2	1 200	344	10	东	次生林
350-3	1 200	337	6	东	次生林
500-1	1 200	494	28	西南	次生林
500-2	1 200	526	35	南	次生林
500-3	1 200	530	30	西南	次生林
600-1	1 200	619	22	南	次生林
600-2	1 200	604	28	南	次生林
600-3	1 200	605	30	东南	次生林
700-1	1 200	703	18	西北	次生林
700-2	1 200	708	22	东南	次生林
700-3	1 200	712	20	东南	次生林
800-1	1 200	810	20	西南	次生林
800-2	1 200	792	18	东南	次生林
800-3	1 200	785	16	东南	次生林
900-1	1 200	900	15	南	次生林
900-2	1 200	904	12	南	次生林
900-3	1 200	885	15	南	次生林
1000-1	1 200	1 026	13	东南	次生林
1000-2	1 200	1 013	18	东南	次生林
1000-3	1 200	1 002	20	东南	次生林
1100-1	1 200	1 112	18	西	次生林
1100-2	1 200	1 109	20	西	次生林
1100-3	1 200	1 103	20	西	次生林
1200-1	1 200	1 210	26	西南	次生林
1200-2	1 200	1 200	22	西南	次生林
1200-3	1 200	1 202	22	西南	次生林
1300-1	1 200	1 350	25	东南	次生林
1300-2	1 200	1 297	23	东	次生林
1300-3	1 200	1 345	30	东南	次生林
1400-1	1 200	1 462	35	东南	原生林
1400-2	1 200	1 432	30	东南	原生林
1400-3	1 200	1 395	26	东北	原生林
1500-1	900	1 558	5	西南	原生林
1500-2	900	1 526	32	西南	原生林
1500-3	900	1 482	35	西南	原生林
1600-1	1 200	1 622	20	西南	原生林
1600-2	1 200	1 628	22	西南	原生林
1600-3	1 200	1 648	30	西南	原生林
1700-1	400	1 700	6	西南	原生林
1700-2	400	1 705	6	西南	原生林
1700-3	400	1 710	6	西南	原生林
1800-1	400	1 778	30	东	原生林
1800-2	400	1 789	28	东	原生林
1800-3	400	1 792	25	南	原生林

表 2 不同海拔优势树种重要值及其变异系数  
Table 2 Importance values and coefficients of variation of dominant tree species at different altitudes

代码 No.	重要值 Importance value / %					变异系数 Variance coefficient
	沟谷常绿阔叶林 Valley evergreen broad-leaved forest	山地常绿阔叶林 Montane broad-leaved evergreen forest	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	常绿阔叶矮林 Evergreen broad-leaved dwarf forest	所有样地 All plots	
S1	10.8	9.0	5.3	5.1	9.3	0.813
S2	8.3	2.1	5.9	13.3	8.0	0.971
S3	4.8	8.8	6.5	3.3	7.9	0.845
S4	4.8	10.1	0.1	—	4.9	1.531
S5	1.6	5.6	2.4	5.9	4.8	1.125
S6	4.0	7.9	1.1	—	4.3	1.625
S7	3.5	5.1	2.1	0.1	4.1	0.951
S8	—	—	10.5	—	4.0	2.700
S9	3.2	3.4	2.9	0.4	3.8	0.840
S10	2.3	3.4	2.7	0.5	3.6	0.793
S11	0.9	1.8	5.6	0.2	3.3	1.365
S12	3.7	3.8	0.3	—	3.1	1.157
S13	3.2	2.7	2.2	0.2	3.1	1.381
S14	0.1	0.1	0.9	13.6	3.0	2.775
S15	1.5	2.4	2.7	0.3	2.8	1.040

注：S1，甜槠；S2，青冈；S3，木荷；S4，小红栲；S5，木莲；S6，杉木；S7，拟赤杨；S8，华南五针松；S9，华润楠；S10，杨桐；S11，五列木；S12，罗浮柿；S13，红楠；S14，假地枫皮；S15，尖叶柃。下同。

Notes: S1, *Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch; S2, *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst; S3, *Schima superba* Gardn. et Champ.; S4, *Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hay; S5, *Manglietia fordiana* Oliv. in Hook.; S6, *Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.; S7, *Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino; S8, *Pinus kwangtungensis* Chun ex Tsiang; S9, *Machilus chinensis* (Champ. ex Benth.) Hemsl.; S10, *Adinandra millettii* Hook. et Arn.; S11, *Pentaphylax euryoides* Gardn. et Champ.; S12, *Diospyros morrisiana* Hance; S13, *Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.; S14, *Illicium jiadifengpi* B. N. Chang; S15, *Eurya acuminatissima* Merr. et Chun. Same below.

(*Castanopsis eyrei* (Champ.) Tutch)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst)、木荷 (*Schima superba* Gardn. et Champ.)、小红栲 (*Castanopsis carlesii* (Hemsl.) Hay)、木莲 (*Manglietia fordiana* Oliv. in Hook.)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、拟赤杨 (*Alniphyllum fortunei* (Hemsl.) Makino)、华南五针松 (*Pinus kwangtungensis* Chun ex Tsiang)、华润楠 (*Machilus chinensis* (Champ. ex Benth.) Hemsl.)、杨桐 (*Adinandra millettii* Hook. et Arn.)、五列木 (*Pentaphylax euryoides* Gardn. et Champ.)、罗浮柿 (*Diospyros morrisiana* Hance)、红楠 (*Machilus thunbergii* Sieb. et Zucc.)、假地枫皮 (*Illicium jiadifengpi* B. N. Chang)、尖叶柃 (*Eurya acuminatissima* Merr. et Chun)。其中沟谷常绿阔叶林物种重要值较大的树种有：甜槠 (10.8%)、青冈 (8.3%) 和木荷 (4.8%)；山地常绿阔叶林物种重要值较大的树种为：小红栲 (10.1%)、甜槠 (9.0%) 和木

荷 (8.8%)；针阔混交林物种重要值较大的树种为：华南五针松 (10.5%)、木荷 (6.5%) 和青冈 (5.9%)；常绿阔叶矮林物种重要值较大的树种为：假地枫皮 (13.6%)、青冈 (13.3%) 和木莲 (5.9%)。物种重要值变异系数较大的树种分别为假地枫皮 (2.775)、华南五针松 (2.700) 和杉木 (1.625)，以上几种树种多集中分布同一植被类型内；物种变异系数较小的树种分别为杨桐 (0.793)、甜槠 (0.813) 和华润楠 (0.840)，以上树种在各海拔梯度内重要值差异不大且每个海拔梯度内均有一定分布。在所有样地中重要值最高的 3 个树种甜槠、青冈和木荷其变异系数值均较低，表明甜槠、青冈和木荷在南岭地区各海拔梯度分布范围广泛且在其所属森林群落中具有高优势度，是南岭地区较有代表性的树种。通过 NMDS 分析对不同海拔梯度优势种差异性进行分析 (图 1)，得出优劣用胁强系数 (Stress) 为 0.1822，排序分析结果合理。同时其 *P* 值为 0.001，可知不同海拔梯度内优势树种组成差异显著。



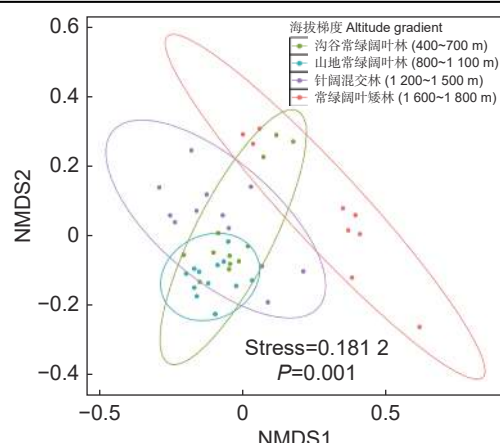


图1 不同海拔优势树种非度量多维尺度 (NMDS) 标序图

Fig. 1 Non-metric multidimensional scale (NMDS) sequence diagrams of dominant tree species at different altitudes

### 3.2 不同海拔梯度优势树种生态位宽度

由表3可知,随着海拔梯度的变化优势树种的生态位宽度表现出差异性。在所有样地中,Levins生态位宽度计算排序前5的树种分别为杨桐(27.856)、甜槠(27.338)、华润楠(26.627)、木荷(26.502)和拟赤杨(23.877);Shannon-Wiener生态位宽度计算排序前5的树种为杨桐(3.419)、木荷(3.412)、青冈(3.412)、甜槠(3.403)和华润楠(3.384),两种生态位宽度计算方法所得生态位宽度较高的物种高度一致,揭示了这些树种在不同海拔梯度上普遍分布,并且对环境变化具有较强适应性。Levins和Shannon-Wiener生态位宽度值排序最后的物种均为杉木、华南五针松和假地枫皮,其数值分别为12.565和2.662;5.535和1.794;5.276和2.054,说明这3个树种对该区的环境资源能力相对较弱,数量较少或分布相对集中,导致其生态位宽度也较小。沟谷常绿阔叶林区域生态位宽度较大的树种分别为罗浮柿、甜槠和拟赤杨;山地常绿阔叶林区域生态位宽度较大的树种分别为杨桐、拟赤杨、华润楠和青冈;针阔混交林区域生态位宽度较大的树种分别为杨桐、甜槠、华润楠和青冈;常绿阔叶林区域生态位宽度较大的树种分别为青冈、木莲和假地枫皮。说明不同海拔梯度植被优势种的生态位宽度存在差异,尤其是沟谷常绿阔叶林和常绿阔叶矮林之间差异更为明显。

通过对研究区域45个样地进行典范对应分析

(CCA)得到生态位宽度与各环境因子二维排序图(图2)。3个环境因子海拔、坡度、坡向对优势种生态位宽度解释量为10.79%,第1排序轴与第2排序轴占排序轴特征值的10.11%,同时,显著性检验结果表明海拔是最优预测因子,进一步说明了海拔是影响研究区优势种生态位宽度的重要环境因子之一。

### 3.3 不同海拔梯度优势树种生态位重叠

从图3可以看出,不同海拔优势种生态位重叠明显的物种对存在一定差异,沟谷常绿阔叶林(图3:A)中生态位重叠度较大的树种对为拟赤杨-尖叶柃(0.93)、小红栲-红楠(0.90)和甜槠-罗浮柿(0.88);山地常绿阔叶林(图3:B)海拔梯度生态位重叠度较大的树种对为甜槠-青冈(0.91)、杨桐-杉木(0.90)和拟赤杨-罗浮柿(0.89);针阔混交林(图3:C)海拔梯度生态位重叠度较大的树种对为尖叶柃-华润楠(0.93)、杨桐-华润楠(0.91)和杨桐-尖叶柃(0.87);常绿阔叶矮林(图3:D)海拔梯度为五列木-红楠(0.97)、木荷-假地枫皮(0.96)和木莲-假地枫皮(0.96);若将区域扩大为所有海拔(图3:E),生态位重叠度最大的树种对是杨桐-尖叶柃(0.81)、拟赤杨-罗浮柿(0.80)和杨桐-华润楠(0.80)。以上树种对在不同海拔生境需求具有相似性,种间竞争激烈。

各个海拔梯度等级生态位重叠指数平均值的排序依次为:常绿阔叶矮林(0.72)>山地常绿阔叶林(0.62)>沟谷常绿阔叶林(0.53)>针阔混交林(0.44),常绿阔叶矮林区域优势树种对资源环境的需求具有较高的相似性,从而导致了更为激烈的种间竞争;相比之下,针阔混交林区域优势树种对资源环境需求的相似程度较低。在所有海拔梯度区域内,乔木优势种共组成了105组种对,生态位重叠指数平均值为0.45,其中生态位重叠小于0.3的种对有23对(21.90%),在0.3~0.6的种对有58对(55.24%),大于0.6的种对有24对(22.86%),不发生重叠的种对有2对(1.9%),分别为小红栲-华南五针松和杉木-假地枫皮。所有样地内各优势种树种对之间普遍存在生态位重叠,结果揭示了该区域的树种在利用环境资源方面表现出较高的适应性,种间关系协调。

表 3 不同海拔梯度优势树种生态位宽度  
Table 3 Niche breadth of dominant species at different altitudinal gradients

代码 No.	沟谷常绿阔叶林 Valley evergreen broad-leaved forest		山地常绿阔叶林 Montane broad-leaved evergreen forest		针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest		常绿阔叶矮林 Evergreen broad-leaved dwarf forest		所有样地 All plots	
	$B_L$	$B_{SW}$	$B_L$	$B_{SW}$	$B_L$	$B_{SW}$	$B_L$	$B_{SW}$	$B_L$	$B_{SW}$
S1	7.951	2.193	8.034	2.191	8.149	2.182	2.886	1.079	27.338	3.403
S2	6.866	2.136	9.043	2.296	7.965	2.215	4.593	1.753	23.416	3.412
S3	7.631	2.140	8.576	2.303	7.431	2.157	2.906	1.083	26.502	3.412
S4	7.252	2.137	7.279	2.107	1.972	0.686	-	-	13.666	2.805
S5	5.429	1.852	6.047	1.990	6.035	1.990	4.577	1.730	20.112	3.239
S6	2.662	1.080	7.720	2.143	2.311	1.151	-	-	12.565	2.662
S7	7.647	2.244	9.485	2.361	5.757	1.922	1.996	0.692	23.877	3.327
S8	-	-	-	-	5.535	1.794	-	-	5.535	1.794
S9	7.580	2.177	9.238	2.260	7.996	2.193	2.882	1.077	26.627	3.384
S10	6.399	1.974	10.351	2.395	9.216	2.302	2.885	1.078	27.856	3.419
S11	5.583	1.851	7.511	2.166	7.386	2.184	1.000	0.000	15.942	3.060
S12	9.852	2.357	8.455	2.234	1.609	0.695	-	-	19.483	3.070
S13	5.316	1.795	6.756	2.117	3.357	1.382	1.000	0.000	15.712	2.943
S14	2.651	1.037	2.000	0.693	2.528	1.346	3.662	1.498	5.276	2.054
S15	5.310	1.856	8.499	2.266	7.059	2.047	2.709	1.040	21.880	3.236

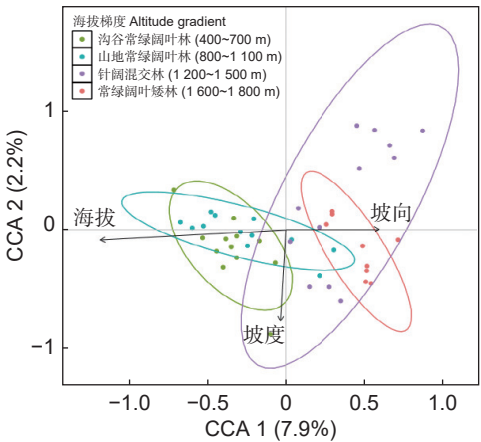


图 2 不同海拔梯度优势树种生态位宽度典范对应分析 (CCA) 二维排序

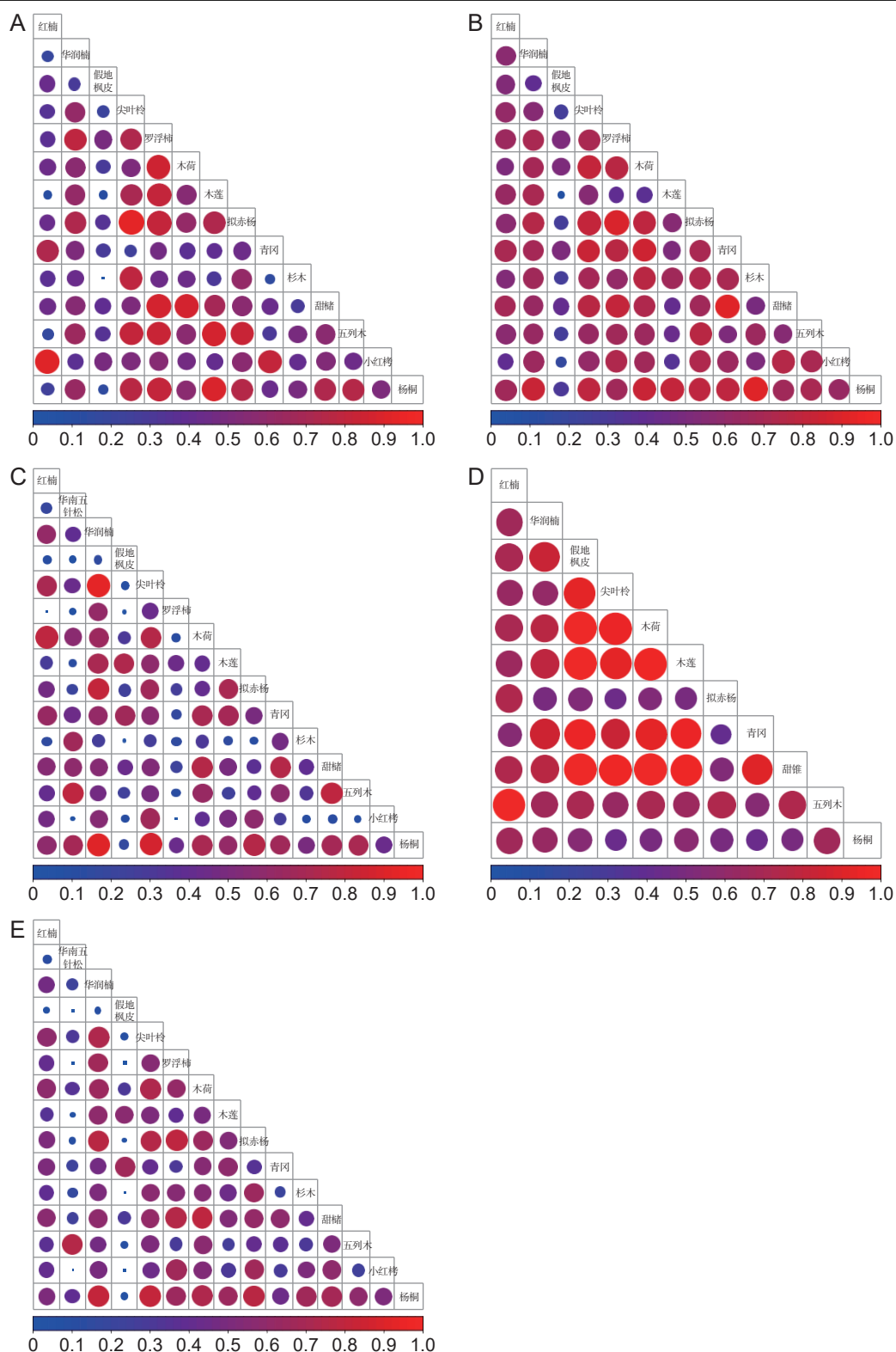
Fig. 2 Canonical correspondence analysis (CCA) two-dimensional ordination of niche breadth of dominant tree species at different altitudinal gradients

3.4 不同海拔梯度优势树种生态位相似性

从图 4 可以看出, 不同海拔梯度优势树种生态位相似度较大的物种对存在一定的差异, 沟谷常绿阔叶林 (图 4: A) 生态位相似性较高的树种对为木荷-甜槠 (0.77)、尖叶柃-拟赤杨 (0.76) 和华润楠-罗浮柿 (0.75); 山地常绿阔叶林 (图 4: B) 生态位相似性较高的树种对为青冈-甜槠 (0.83)、杉木-杨桐 (0.78) 和罗浮柿-拟赤杨

(0.76); 针阔混交林 (图 4: C) 生态位相似性较高的树种对为华润楠-尖叶柃 (0.84)、华润楠-杨桐 (0.78) 和尖叶柃-杨桐 (0.75); 常绿阔叶矮林 (图 4: D) 生态位相似性较高的树种对为红楠-五列木 (0.97)、木荷-甜槠 (0.97) 和假地枫皮-木荷 (0.88); 若将区域扩大为所有海拔 (图 4: E), 生态位相似性最高的树种对是华润楠-杨桐 (0.73)、木荷-甜槠 (0.70)、华润楠-拟赤杨 (0.69) 和尖叶柃-杨桐 (0.69)。说明以上物种对在各海拔梯度内, 对资源的利用程度和竞争能力相较其他物种对更为接近。

在不同的海拔梯度内生态位相似性均值大小排序为: 常绿阔叶矮林 (0.54) > 山地常绿阔叶林 (0.53) > 沟谷常绿阔叶林 (0.46) > 针阔混交林 (0.38), 这表明常绿阔叶矮林海拔梯度优势树种对生态需求更为接近, 在所有海拔梯度区域内, 乔木优势种共组成了 105 组种对, 生态位相似性均值为 0.39, 其中生态位重叠小于 0.3 的种对有 26 对 (24.76%), 在 0.3~0.6 的种对有 67 对 (63.81%), 大于 0.6 的种对有 12 对 (11.43%), 多数树种对生态位相似性指数围绕所有种对的均值波动, 说明该区各树种对区域内资源利用较为充分。



A: 沟谷常绿阔叶林; B: 山地常绿阔叶林; C: 针阔混交林; D: 常绿阔叶矮林; E: 所有海拔梯度。图中指数数值越大, 圆圈越大, 颜色向深红色渐变; 反之, 颜色向深蓝色渐变。下同。

A: Valley evergreen broad-leaved forest; B: Montane broad-leaved evergreen forest; C: Coniferous and broad-leaved mixed forest; D: Evergreen broad-leaved dwarf forest; E: All elevation gradients. Larger index value indicates larger circle, and color gradually changes to dark red; in contrast, color gradually changes to dark blue. Same below.

图 3 不同海拔梯度优势种生态位重叠指数

Fig. 3 Ecological niche overlap index of dominant species at different altitudinal gradients



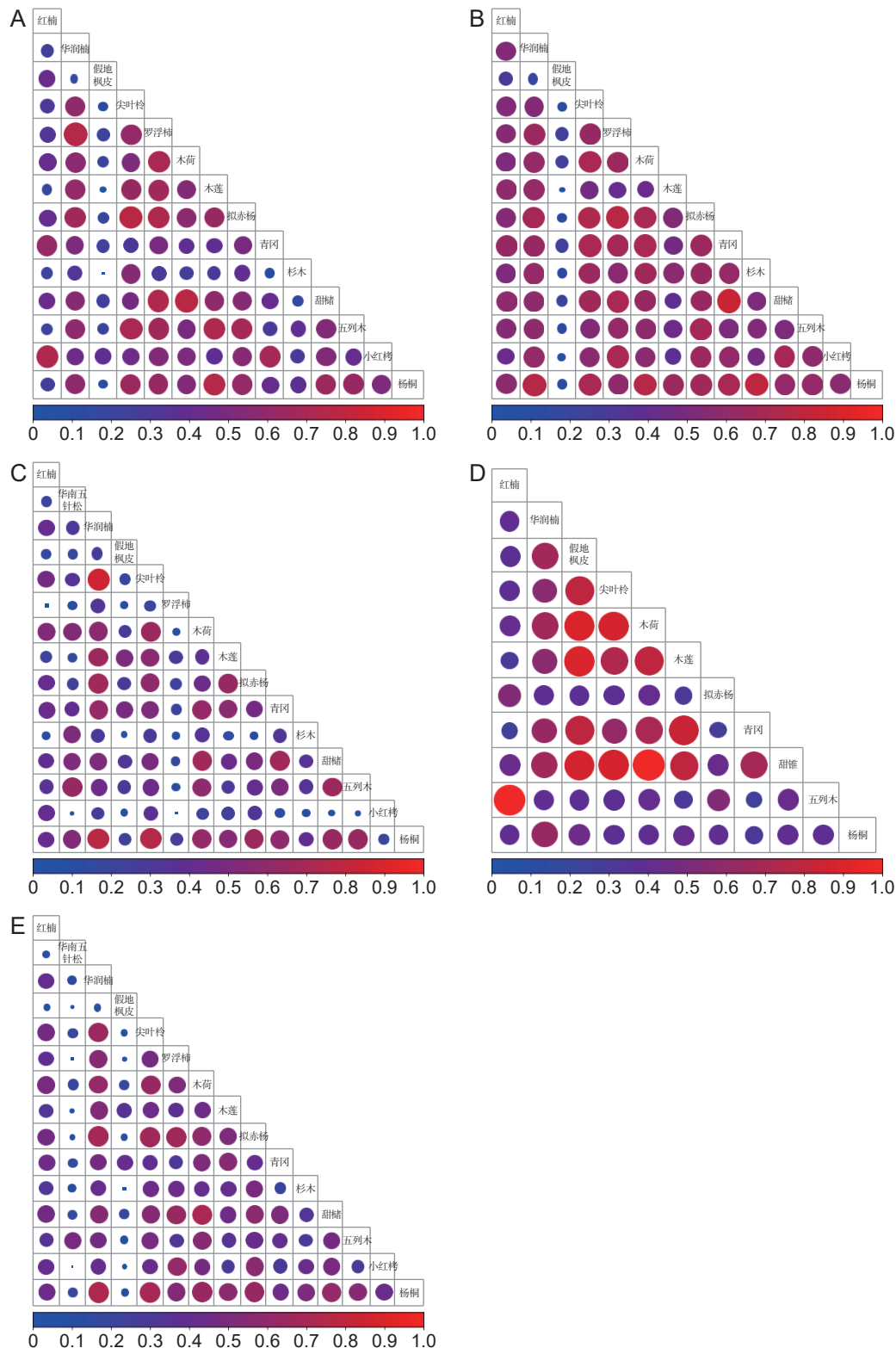


图 4 不同海拔梯度优势种生态位相似性  
Fig. 4 Similarity of ecological niches of dominant species across altitudinal gradients

3.5 重要值及其变异系数与生态位宽度的关系

由图 5 可知所有海拔梯度优势树种 Levins 和 Shannon-Wiener 生态位宽度值与重要值之间呈微

弱正相关，其 Pearson 相关系数分别为 0.445 和 0.384。由图 6 可知所有海拔梯度优势树种生态位宽度值与重要值变异系数之间呈显著负相关，其

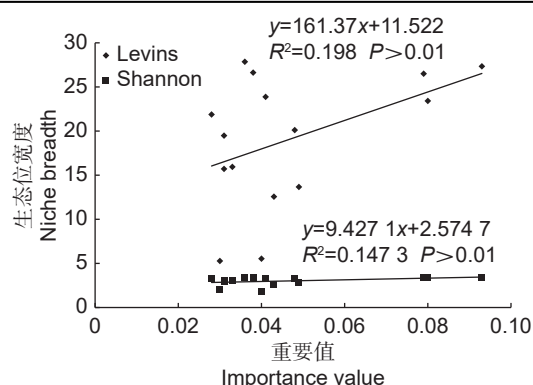


图5 重要值与生态位宽度的关系

Fig. 5 Relationships between importance values and niche breadths

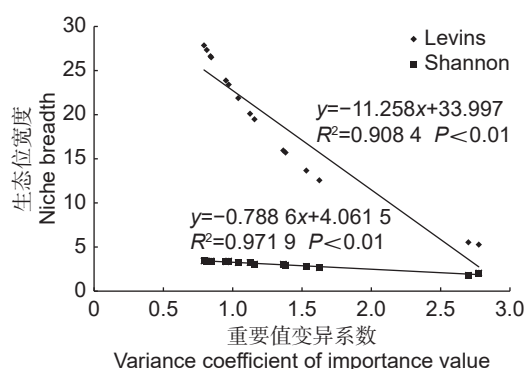


图6 重要值变异系数与生态位宽度的关系

Fig. 6 Relationships between variance coefficients of importance values and niche breadths

Pearson 相关系数分别为-0.953 和-0.986, 说明在本研究中优势种的重要值与生态位宽度关系不密切, 而重要值变异系数与其生态位宽度成反比, 即变异系数增大时生态位宽度减小, 反之则增大。

## 4 讨论

### 4.1 重要值和生态位宽度

物种重要值能反映物种在群落中的优势度; 物种的生态位宽度则反映物种在环境中的适应力与种间竞争能力<sup>[26]</sup>。在以往的研究中, 物种重要值和生态位宽度存在一定的关联性且多表现为正相关<sup>[8, 27]</sup>, 本研究中, 优势树种重要值与生态位宽度之间呈微弱正相关, 且多种树种的重要值与生态位宽度值排列位置并不相称, 如重要值排位第1 和2 位的甜槠和青冈, 其生态位宽度排位在第2 和6 位, 这与李一凡等<sup>[5]</sup> 研究结果一致。这可能是由于影响物种生态位宽度的因素较为复杂, 且本

研究通过对南岭中段森林优势树种生态位宽度进行典范对应分析 (CCA) 发现其对海拔、坡向和坡位 3 个环境因子分析所得解释量不高, 证明还有许多本研究未调查的环境因子对该地区优势种生态位宽度有影响, 结合以往的研究<sup>[11, 28]</sup>, 发现生态位宽度与土壤 pH 值、土壤全磷、全钾、枯枝落叶层、腐殖质层厚度和林冠郁闭度等均有关, 在后续的研究中可以增加更多维的环境因子加以分析。此外, 该区群落多为天然次生林, 未达到演替顶级阶段, 生态位宽度也没有到最大。重要值变异系数作为重要值在不同样地间离散程度的量度, 与生态位宽度之间呈现显著的负相关, 这与前人的研究结果一致<sup>[25, 29]</sup>, 这可能与重要值离散程度某种程度上反映物种适应环境的能力有关。因此, 重要值和生态位宽度虽然作为物种生态位特征的重要评价指标, 但不能单纯以某种指标作为判断物种生态位综合特征的依据<sup>[30]</sup>。

### 4.2 生态位重叠与相似性

生态位的重叠通常是物种间竞争和相互作用的指标<sup>[31]</sup>。一般认为, 每个种对生态位重叠越大, 两个物种之间竞争越强烈<sup>[32]</sup>, 但也有研究表明, 仅在资源匮乏的地区才会引起竞争<sup>[33]</sup>。在本研究中, 随着海拔梯度变化, 不同优势种间的生态位重叠度存在明显差异, 在最低和最高海拔梯度生态位重叠度相较于中间海拔梯度整体较高, 这可能是由于最低海拔虽然水热条件好, 但物种数量也多, 对资源的需求量大, 而高海拔自然条件恶劣<sup>[34]</sup>, 资源的限制导致竞争激烈; 中间海拔生态位重叠低符合生物多样性“中间膨胀”理论<sup>[35]</sup>, 温度和能量随海拔的升高而降低, 水分随海拔的升高而升高, 因此, 在三者共同作用下中海拔段形成最适物种分布区<sup>[36]</sup>。生态位相似性指标揭示了物种在对共有资源的需求和利用上的相似性<sup>[37]</sup>。物种间相似性的变化趋势与生态位重叠的变化趋近, 4 个群落类型中处于中高海拔的针阔混交林值最低, 群落稳定性最高<sup>[12]</sup>。

根据以往的研究成果, 生态位宽度与生态位重叠及相似性之间多为正相关<sup>[38-40]</sup>, 少数为无明显关联<sup>[41]</sup>, 甚至生态位宽度大的种对间也可能具有较小的生态位相似性<sup>[42]</sup>, 从本研究结果来看, 生态位宽度值较大树种之间可能产生较高的生态位相似性和生态位重叠值, 如甜槠和青冈, 但较小生态位宽度值的树种与较大生态位宽度值的树种往往

只有小的生态位重叠值,如小红栲与华南五针松,而较小生态位宽度值的树种之间则可有较高的生态位重叠值,也可有较大的生态位相似性比例,如尖叶栎与假地皮枫,这与闫东锋等<sup>[12]</sup>对太行山南麓不同海拔梯度天然林优势树种生态位的研究结果一致。总的来说,生态位宽度与生态位重叠指数及生态位相似性指数之间的相互作用是复杂的,并且与物种对的生态行为、生境因子和采样尺度紧密相关<sup>[6]</sup>。

#### 4.3 生态位资源利用假说验证

生态位资源利用假说是一种关于植物在群落中利用空间资源方式的理论假设。本研究中,处于中低海拔区域内的各优势树种重要值分布比较均匀,同时研究结果中生态位相似指数也反映了其相较于高海拔的常绿阔叶矮林海拔区域更具有群落稳定性<sup>[6, 12, 41]</sup>;徐卫等<sup>[43]</sup>在南岭地区开展沿海海拔梯度植物群落物种多样性的研究也发现南岭地区乔木层 $\alpha$ 多样性随海拔升高呈现“单峰曲线”的变化趋势,中低海拔相较高海拔地区树种组成更丰富,各树种的生态位多维体积边界位于多维空间的随机位置,形成了多样化的树种组成方式,故中低海拔区域的林分对资源利用方式的划分较符合随机生态位边界假说;高海拔的常绿阔叶矮林优势树种青冈和假地枫皮重要值明显高出其余优势树种,由于高海拔区域生境条件更为严酷,青冈和假地枫皮长期适应形成的生存方式和竞争能力占据了较大的生态位空间,进而挤占了其他物种的环境资源,故高海拔区域的林分对资源利用方式符合生态位优先占领假说。

#### 参考文献:

- [1] 张忠华, 梁士楚, 胡刚. 桂林岩溶石山阴香群落主要种群生态位研究[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 63-68.  
Zhang ZH, Liang SC, Hu G. Niche characteristics of dominant populations in *Cinnamomum burmannii* community on karst hills of Guilin[J]. *Forest Research*, 2009, 22(1): 63-68.
- [2] Grinnell J. The niche-relationships of the California thrasher[J]. *Auk*, 1917, 34(4): 427-433.
- [3] 孙红斌, 甘先华, 赵晴, 李一凡, 张卫强, 等. 深圳田头山自然保护区森林群落优势种生态位特征[J]. 林业与环境科学, 2022, 38(1): 75-86.  
Sun HB, Gan XH, Zhao Q, Li YF, Zhang WQ, et al. Niche characteristics of dominant species in forest community of Tiantoushan nature reserve in Shenzhen[J]. *Forestry and Environmental Science*, 2022, 38(1): 75-86.
- [4] 白晓航, 张金屯. 小五台山森林群落优势种的生态位分析[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3815-3826.  
Bai XH, Zhang JT. Niche analysis of dominant species of forest community in Xiaowutai Mountain, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(12): 3815-3826.
- [5] 李一凡, 刘梦芸, 甘先华, 黄芳芳, 张卫强. 深圳市坝光湿地公园银叶树群落优势种生态位特征[J]. 生态环境学报, 2020, 29(11): 2171-2178.  
Li YF, Liu MY, Gan XH, Huang FF, Zhang WQ. Niche characteristics of the dominant species of the *Heritiera littoralis* community in Baguang Wetland Park, Shenzhen[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(11): 2171-2178.
- [6] 杨新东, 陈流保, 曾献兴, 谢冲林, 黄清华, 等. 广东翁源青云山自然保护区森林群落优势树种的生态位特征[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(6): 565-573.  
Yang XD, Chen LB, Zeng XX, Xie CL, Huang QH, et al. Niche characteristics of dominant species of forest community in Qingyunshan Natural Reserve, Wengyuan, Guangdong Province[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2020, 28(6): 565-573.
- [7] 杨磊. 生态位理论在森林群落内应用的探讨[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2008, 21(4): 27-28.
- [8] 卢炜丽, 张洪江, 陈奇伯, 吴霖, 栗宏林. 重庆四面山杉木林群落乔木层优势种群生态位特征研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(2): 60-65.  
Lu WL, Zhang HJ, Chen QB, Wu L, Li HL. Niche characteristics of the tree-layer dominant populations of *Cunninghamia lanceolata* forest in Chongqing Simian Mountains[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(2): 60-65.
- [9] 高伟, 黄茂根, 黄石德, 吴兴盛, 方栋龙, 陈爱平. 濒危树种闽桦天然林优势种群生态位特征[J]. 植物科学学报, 2023, 41(5): 613-625.  
Gao W, Huang MG, Huang SD, Wu XS, Fang DL, Chen AP. Niche characteristics of dominant populations in *Betula fujianensis* J. Zeng, Jian H. Li & Z. D. Chen natural forest[J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(5): 613-625.
- [10] 赵阳, 曹家豪, 李波, 齐瑞, 刘婷, 等. 洮河自然保护区大峪沟林区紫果云杉群落木本植物种群生态位特征[J]. 生态学报, 2022, 42(5): 1865-1875.  
Zhao Y, Cao JH, Li B, Qi R, Liu T, et al. Niche of woody plant populations of *Picea purpurea* community in Dayugou forest area, Taohu Nature Reserve, Gansu Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(5): 1865-1875.
- [11] 张璐, 苏志尧, 陈北光, 李镇魁. 广东石坑崆森林群落优势种群生态位宽度沿海梯度的变化[J]. 林业科学研究, 2007, 20(5): 598-603.  
Zhang L, Su ZY, Chen BG, Li ZK. Variations in niche breadth of dominant plant populations along an altitudinal

- gradient in Shikengkong of Guangdong Province[J]. *Forest Research*, 2007, 20 ( 5 ): 598-603.
- [12] 闫东锋, 张妍妍, 吕康婷, 周梦丽, 王婷, 赵宁. 太行山南麓不同海拔梯度天然林优势树种生态位特征 [J]. 生态环境学报, 2021, 30 ( 8 ): 1571-1580.
- Yan DF, Zhang YY, Lü KT, Zhou ML, Wang T, Zhao N. Niche characteristics of dominant tree species in natural forests at different altitudes in the south of Taihang Mountains[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2021, 30 ( 8 ): 1571-1580.
- [13] Alarcón D, Cavieres LA. Relationships between ecological niche and expected shifts in elevation and latitude due to climate change in South American temperate forest plants[J]. *J Biogeogr*, 2018, 45 ( 10 ): 2272-2287.
- [14] 黄伟佳, 刘春, 刘岳, 黄斌, 李定强, 袁再健. 南岭山地不同海拔土壤生态化学计量特征及影响因素 [J]. 生态环境学报, 2023, 32 ( 1 ): 80-89.
- Huang WJ, Liu C, Liu Y, Huang B, Li DQ, Yuan ZJ. Soil ecological stoichiometry and its influencing factors at different elevations in Nanling Mountains[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2023, 32 ( 1 ): 80-89.
- [15] 黄斌, 王泉泉, 李定强, 肖海兵, 聂小东, 等. 南岭山地土壤有机碳及组分海拔梯度变化特征 [J]. 土壤通报, 2022, 53 ( 2 ): 374-383.
- Huang B, Wang QQ, Li DQ, Xiao HB, Nie XD, et al. Variation characteristics of organic carbon and fractions in soils along the altitude gradient in Nanling Mountains[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, 53 ( 2 ): 374-383.
- [16] 郭英荣, 雷平, 晏雨鸿, 袁荣斌, 吴淑玉, 李剑萍. 江西武夷山黄岗山西北坡植物物种多样性沿海拔梯度的变化 [J]. 生态学杂志, 2015, 34 ( 11 ): 3002-3008.
- Guo YR, Lei P, Yan YH, Yuan RB, Wu SY, Li JP. Plant species diversity changes along altitudinal gradient on the northwest slope of Huanggang Mountain of Jiangxi Wuyi Mountain[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34 ( 11 ): 3002-3008.
- [17] 宗天韵, 周玮莹, 周平. 南岭山地 1968 到 2015 年降雨的时空变化特征研究 [J]. 生态科学, 2019, 38 ( 2 ): 182-190.
- Zong TY, Zhou WY, Zhou P. Analysis of temporal and spatial variation of rainfall in 1968-2015 in Nanling[J]. *Ecological Science*, 2019, 38 ( 2 ): 182-190.
- [18] 刘安世. 广东土壤 [M]. 北京: 科学出版社, 1993: 678.
- [19] 张中峰, 张璐, 陈北光, 谢正生. 南岭国家级自然保护区广东松群落优势种群生态位研究 [J]. 华南农业大学学报, 2006, 27 ( 2 ): 74-77, 103.
- Zhang ZF, Zhang L, Chen BG, Xie ZS. Niche characteristics of dominant populations in *Pinus kwangtungensis* forest in Nanling National Nature Reserve, Guangdong, China[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2006, 27 ( 2 ): 74-77, 103.
- [20] 温美丽, 杨龙, 王钧, 付淑清, 张玉玲, 等. 南岭森林的土壤保持功能 [J]. 林业与环境科学, 2018, 34 ( 2 ): 123-130.
- Wen ML, Yang L, Wang J, Fu SQ, Zhang YL, et al. Soil retention function of forests in Nanling Mountain[J]. *Forestry and Environmental Science*, 2018, 34 ( 2 ): 123-130.
- [21] 李俊清. 森林生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 45-60.
- [22] Hamilton WD. Ordering the phenomena of ecology: *evolution in Changing Environments*. Some Theoretical Explorations. Richard Levins. Princeton University Press, Princeton, N. J., 1968. x + 120 pp., illus. \$6.50. Monographs in Population Biology, No. 2.[J]. *Science*, 1970, 167 ( 3924 ): 1478-1480.
- [23] Colwell RK, Futuyma DJ. On the measurement of niche breadth and overlap[J]. *Ecology*, 1971, 52 ( 4 ): 567-576.
- [24] Pianka ER. The structure of lizard communities[J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1973, 4: 53-74.
- [25] 李锦婷, 穆君, 申开平, 郭云, 白小节, 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.
- Li JT, Mu J, Shen KP, Guo Y, Bai XJ, et al. Niche and interspecific association of dominant woody plants in *Camellia luteoflora* community[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44 ( 1 ): 283-294.
- [26] Boulangeat I, Lavergne S, van Es J, Garraud L, Thuiller W. Niche breadth, rarity and ecological characteristics within a regional flora spanning large environmental gradients[J]. *J Biogeogr*, 2012, 39 ( 1 ): 204-214.
- [27] 陈俊华, 刘兴良, 何飞, 刘世荣. 卧龙巴朗山川漠高山栎灌丛主要木本植物种群生态位特征 [J]. 林业科学, 2010, 46 ( 3 ): 23-28.
- Chen JH, Liu XL, He F, Liu SR. Niche characteristics of dominant woody populations in *Quercus aquifolioides* shrub community in Balangshan Mountain in Wolong Nature Reserve[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46 ( 3 ): 23-28.
- [28] 胡刚, 庞庆玲, 胡聪, 徐超昊, 张忠华. 中亚热带喀斯特森林树木功能型的生态位特征 [J]. 林业科学, 2024, 60 ( 1 ): 1-11.
- Hu G, Pang QL, Hu C, Xu CH, Zhang ZH. Niche characterization of tree functional types in a central subtropical karst forest[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2024, 60 ( 1 ): 1-11.
- [29] 汪建华, 周先容, 尚进, 江波, 杨利平. 金佛山巴山榧树灌丛群落主要木本植物种群生态位特征 [J]. 生态学杂志, 2014, 33 ( 5 ): 1135-1141.
- Wang JH, Zhou XR, Shang J, Jiang B, Yang LP. Niche characteristics of dominant woody plant populations in a *Torreya fargesii* shrub community in the Jinfo Mountains[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33 ( 5 ): 1135-1141.
- [30] 丁少华, 葛继稳, 彭凤姣, 李艳元, 甘娟, 等. 赛武当国家级自然保护区珍稀濒危植物生态位特征 [J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38 ( 12 ): 70-75, 82.
- Ding SH, Ge JW, Peng FJ, Li YY, Gan J, et al. Niche characteristics of rare and endangered plants in Saiwudang



- national nature reserve[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2018, 38 ( 12 ): 70–75, 82.
- [31] 刘尧尧, 辜彬, 王丽. 北川震后植被恢复工程植物群落物种多样性及优势种生态位[J]. *生态学杂志*, 2019, 38 ( 2 ): 309–320.
- Liu YY, Gu B, Wang L. Species diversity of plant community and the niche of dominant species in Beichuan after earthquake engineering[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38 ( 2 ): 309–320.
- [32] 陈玉凯, 杨琦, 莫燕妮, 杨小波, 李东海, 洪小江. 海南岛霸王岭国家重点保护植物的生态位研究[J]. *植物生态学报*, 2014, 38 ( 6 ): 576–584.
- Chen YK, Yang Q, Mo YN, Yang XB, Li DH, Hong XJ. A study on the niches of the state's key protected plants in Bawangling, Hainan Island[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, 38 ( 6 ): 576–584.
- [33] 杨龙, 严令斌, 安明态, 徐钦, 杨熋, 袁冬梅. 基于生态位理论的毛竹-桫欏群丛物种竞争共存机制[J]. *应用生态学报*, 2023, 34 ( 8 ): 2065–2072.
- Yang L, Yan LB, An MT, Xu Q, Yang M, Yuan DM. Competition and synergistic mechanisms of species in *Phyllostachys edulis*-*Alsophila spinulosa* association based on niche theory[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34 ( 8 ): 2065–2072.
- [34] 王旭, 胡文强, 李家湘, 黄世能. 广东南岭石坑崆山顶矮林群落结构特征[J]. *浙江林业科技*, 2011, 31 ( 6 ): 12–17.
- Wang X, Hu WQ, Li JX, Huang SN. Preliminary studies on montane elfin forest community characteristics in mountain Shikengkong of Nanling in Guangdong Province[J]. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2011, 31 ( 6 ): 12–17.
- [35] Ralph CJ. Habitat association patterns of forest and steppe birds of northern Patagonia, Argentina[J]. *Condor*, 1985, 87 ( 4 ): 471–483.
- [36] 刘开明, 郑智, 龚大洁. 物种丰富度的垂直分布格局及其形成机制[J]. *生态学杂志*, 2017, 36 ( 2 ): 541–554.
- Liu KM, Zheng Z, Gong DJ. Elevational patterns of species richness and their underlying mechanism[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36 ( 2 ): 541–554.
- [37] 许诺, 林开敏, 吴培培, 许冠军, 朱晗, 何宗明. 杉木老龄林乔木层主要树种生态位研究[J]. *森林与环境学报*, 2017, 37 ( 3 ): 330–335.
- Xu N, Lin KM, Wu PP, Xu GJ, Zhu H, He ZM. Niche of main species in the tree layer of old-growth Chinese fir forest[J]. *Journal of Forest and Environment*, 2017, 37 ( 3 ): 330–335.
- [38] 陈志伟, 伊贤贵, 王贤荣, 谢春平, 南程慧, 汪小飞. 黄山微毛樱群落主要种群生态位特征[J]. *南京林业大学学报 ( 自然科学版 )*, 2014, 38 ( S1 ): 39–46.
- Chen ZW, Yi XG, Wang XR, Xie CP, Nan CH, Wang XF. Niche characteristics of dominant population of *Cerasus clarofolia* community in Huangshan Mountain[J]. *Journal of Nanjing Forestry University ( Natural Sciences Edition )*, 2014, 38 ( S1 ): 39–46.
- [39] 王霞, 铁军, 刘泽宇. 山西陵川南方红豆杉群落优势种生态位特征[J]. *生态科学*, 2017, 36 ( 5 ): 64–72.
- Wang X, Tie J, Liu ZY. Niche characteristics of dominant plant species in *Taxus chinensis* var. *mairei* community of Lingchuan, in Shanxi[J]. *Ecological Science*, 2017, 36 ( 5 ): 64–72.
- [40] 何江, 徐来仙, 艾训儒. 湖北七姊妹山亚热带常绿落叶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.
- He J, Xu LX, Ai XR. Niche and interspecific association of main woody plants in the subtropical evergreen-deciduous broadleaved mixed forest in Qizimei Mountain, Hubei Province[J]. *Forest Research*, 2023, 36 ( 3 ): 138–148.
- [41] 刘润红, 常斌, 荣春艳, 姜勇, 杨瑞岸, 等. 漓江河岸带枫杨群落主要木本植物种群生态位[J]. *应用生态学报*, 2018, 29 ( 12 ): 3917–3926.
- Liu RH, Chang B, Rong CY, Jiang Y, Yang RA, et al. Niche of main woody plant populations of *Pterocarya stenoptera* community in riparian zone of Lijiang River, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29 ( 12 ): 3917–3926.
- [42] 吴倩楠, 董建文, 郑宇, 傅伟聪, 李慧, 等. 百里杜鹃国家森林公园优势种生态位研究[J]. *南京林业大学学报 ( 自然科学版 )*, 2017, 41 ( 2 ): 175–180.
- Wu QN, Dong JW, Zheng Y, Fu WC, Li H, et al. Niches of the main plant species in Baili Rhododendron National Forest Park[J]. *Journal of Nanjing Forestry University ( Natural Sciences Edition )*, 2017, 41 ( 2 ): 175–180.
- [43] 徐卫, 杨婷, 李泽华, 周平. 广东南岭植物群落物种多样性沿海拔梯度分布格局[J]. *林业与环境科学*, 2022, 38 ( 1 ): 9–17.
- Xu W, Yang T, Li ZH, Zhou P. Distribution pattern of plant community species diversity along altitudinal gradients in Nanling Mountains, Guangdong[J]. *Forestry and Environmental Science*, 2022, 38 ( 1 ): 9–17.

( 责任编辑: 周媛 )