

引用格式: 刘会英, 吕琴, 徐正会, 等. 中国多刺蚁属物种的分布格局及生态位分化[J]. 浙江农林大学学报, 2026, 43(X): 1-11. LIU Huiying, LÜ Qin, XU Zhenghui, et al. Distribution pattern and niche differentiation of *Polyrhachis* species in China[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2026, 43(X): 1-11.

中国多刺蚁属物种的分布格局及生态位分化

刘会英, 吕琴, 徐正会, 王婧, 刘吉钰, 张秀文

(西南林业大学 林学院 云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南昆明 650224)

摘要: 【目的】揭示中国多刺蚁属 *Polyrhachis* 物种的多样性及生态位分化现象, 为中国蚁科 Formicidae 昆虫多样性保护和利用提供参考。【方法】依据 1990—2025 年野外调查获得的多刺蚁属标本及其栖息生境、觅食场所、筑巢场所、地理分布数据和文献记录数据, 采用形态分类、采集频数法和 Levins 生态位分析等方法, 对多刺蚁属物种的分布格局及生态位宽度进行研究。【结果】共记录多刺蚁属物种 52 个。分布格局分析显示: 中国多刺蚁属物种在水平与垂直分布、栖息生境选择、觅食与筑巢行为上均存在明显的生态位分化。云南省多刺蚁属物种丰富度最高, 所有物种之中双齿多刺蚁 *Polyrhachis dives* 的生态位最宽, 且该属在热带雨林中栖息的物种多样性最高。多刺蚁属物种主要在植物上和地表觅食, 多在树上筑巢。【结论】多刺蚁属物种的空间分布格局受海拔梯度、气候因子及植被丰度等多维生态要素的协同调控。大多数物种生态位宽度和生态适应幅度狭窄, 属于特化种, 在进化中处于劣势地位, 当赖以生存的生境遭受干扰、破坏或丧失时, 极易触发区域性物种灭绝事件。图 4 表 2 参 40

关键词: 多刺蚁属; 分类; 生境; 觅食; 筑巢; 分布格局

中图分类号: S718.7 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2026)00-0001-11

Distribution pattern and niche differentiation of *Polyrhachis* species in China

LIU Huiying, LÜ Qin, XU Zhenghui, WANG Jing, LIU Jiyu, ZHANG Xiuwen

(Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province, College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this study is to reveal the diversity and niche differentiation phenomenon of *Polyrhachis* species in China, so as to provide a reference for the conservation and utilization of Formicidae insect diversity in China. [Method] The distribution pattern and niche width of the genus were investigated using the methods of morphological taxonomy, collection frequency and Levins niche analysis. The analyses were based on specimens together with data on habitats, foraging and nesting sites, and geographical distribution collected via field surveys from 1990 to 2025, as well as relevant data obtained from literatures. [Result] A total of 52 *Polyrhachis* species of the genus were recorded. Distribution pattern analysis showed that *Polyrhachis* species in China exhibited significant niche differentiation in horizontal and vertical distribution, habitat selection, foraging and nesting behavior. Yunnan Province had the highest species richness. Among all species, *P. dives* had the widest ecological niche, and the highest species diversity occurred in tropical rainforest. *Polyrhachis* species mainly foraged on plant and ground, and primarily nested on the tree. [Conclusion] The spatial distribution pattern of *Polyrhachis* species is jointly modulated by multiple

收稿日期: 2025-09-18; 修回日期: 2026-04-20

基金项目: 西南林业大学林学学科和重点实验室开放基金项目 (LXXK-2025D14); 国家自然科学基金项目 (31860615); 国家自然科学基金委员会应急管理项目 (31750002)

作者简介: 刘会英 (ORCID: 0009-0000-2535-847X), 从事森林昆虫学研究。E-mail: 2689072384@qq.com。通信作者: 徐正会 (ORCID: 0000-0003-2415-770X), 教授, 博士, 从事森林昆虫学、蚁类学研究。E-mail: xuzhenghui1962@163.com

ecological factors, including altitude gradient, climatic factors and vegetation abundance. Most species possess narrow ecological niche and limited adaptive amplitude, and are therefore recognized as specialized species that are evolutionarily disadvantaged. When the habitats on which these species rely for survival are disturbed, destroyed, or lost, it can easily trigger regional extinction events. [Ch, 4 fig. 2 tab. 40 ref.]

Key words: *Polyrhachis*; taxonomy; habitat; forage; nesting; distribution pattern

蚂蚁隶属昆虫纲 Insecta 膜翅目 Hymenoptera 蚁科 Formicidae, 是陆地生态系统中物种丰富、个体数量庞大、地理分布广泛的优势昆虫类群^[1], 在生态系统结构与功能维系中扮演着多维度且不可替代的关键角色。这种核心地位源于蚂蚁占据了丰富多样的生态位。生态位是一个物种在群落中相对于其他物种的位置, 能够反映群落中各物种的时空位置和功能关系^[2]。生态位包括空间生态位、功能生态位和多维超体积生态位^[3]。探究物种生态位, 能够解析生物共存与群落结构形成机制、阐明生态系统运行规律, 量化物种环境适应特征、预测分布格局演变, 助力保护物种甄别, 进而揭示自然选择介导的物种适应性分化与生物多样性维持机制。

多刺蚁属 *Polyrhachis* 由 SMITH^[4] 首次建立, 为蚁亚科 Formicinae 第二大属。该属蚂蚁既是森林害虫的重要天敌类群^[5], 同时具备较高的药用研究与应用价值^[6-8]。多刺蚁属起源于古近纪的东南亚区域, 随后逐步扩散至澳大利亚与非洲大陆^[9], 该类群现存物种集中分布于旧大陆热带至暖温带区域^[10], 全球已记录多刺蚁属物种 709 个。王常禄等^[5] 首先对中国多刺蚁属开展分类研究, 共报道 15 种, 其中包括 3 个新种、2 个新地位种和 5 个中国新记录种, 并提出 1 个次异名。接着, 唐觉等^[6]、XU^[11]、周善义^[8] 分别发现 7、2、13 个种; 此后, XU^[12] 再次报道中国多刺蚁属 9 个种, 其中包含 5 个新种; 徐正会^[7] 记录多刺蚁属 24 个种; QIAN 等^[13] 报道多刺蚁属 1 个新种; WONG 等^[14] 发现了中国香港与澳门的 7 个区域新记录种及 4 个新种。近期, CHEN 等^[15] 又发现了 1 个新种。目前, 中国已记录多刺蚁属物种 56 个, 其中凸颊多刺蚁 *Polyrhachis convexa*、光滑多刺蚁 *P. levior*、光亮多刺蚁 *P. lucidula*、羚羊多刺蚁 *P. rupicapra*、畅多刺蚁 *P. schang*、褚多刺蚁 *P. tschu* 这 6 个种在中国的分布记录尚存在争议, 需进一步验证与核实。虽然前人已针对中国多刺蚁属物种开展分类研究, 记载了不少物种, 但对该属物种的分布规律及生态位特征仍缺乏系统的探讨。鉴于此, 本研究基于 1990—2025 年野外调查获取的多刺蚁属标本, 结合其栖息生境、觅食场所、筑巢场所及地理分布数据, 并整合近期相关研究成果, 对中国多刺蚁属物种进行系统研究, 分析其分布格局与生态位宽度, 以期揭示该属物种的生态位分化特征, 为中国多刺蚁属物种的保护与合理利用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

从西南林业大学蚂蚁研究团队 1990—2025 年野外调查采集的 98 955 号标本中, 筛选多刺蚁属标本 722 号 3 309 头, 获得地理和生态数据 722 条, 包括标本编号、采集地点、经纬度、海拔、植被类型、觅食和筑巢场所、野外观察到的个体数量、采集标本数量等信息, 以此作为物种分类和分布格局分析的原始数据。同时, 查阅国内外中国多刺蚁属的分类文献, 提取可用的地理和生态信息, 作为补充数据。

1.2 野 外 调 查 方 法

采用样地调查法^[7, 16]和搜索调查法^[17]进行野外调查, 采集蚂蚁标本, 获取地理和生态数据。在野外选定垂直带样线后, 沿海拔梯度开展样地调查, 海拔每上升 250 m 选定 1 块面积为 50 m×50 m 的样地。在样地内沿对角线选取 5 个面积为 1 m×1 m 的样方(样方间距 10 m), 分别调查样方内地表、土壤和树冠的蚂蚁, 统计数量, 采集标本并保存于盛有无水乙醇的 2 mL 冻存管内。样方调查结束后, 采用搜索调查法朝东、南、西、北 4 个方向进一步调查样地土壤、地表、石下、朽木下、朽木内、地被内、牛粪下、苔藓下等各类微生境中的蚂蚁, 并采集标本。最后使用样地记录卡依次记录样地的地理、气象、土壤、植被、地被物、日期等信息, 并对样地的植被、地被物、土壤等环境特征进行拍照。野外调查范围包括云南全境、西藏全境、青海全境、祁连山国家公园、新疆天山及邻近地区、内蒙古额尔古纳和呼伦贝尔地区、黑龙江大兴安岭和小兴安岭地区、吉林长白山、河南鸡公山自然保护区和宝天曼国家森林公园、湖北

神农架林区、四川川西高原和大凉山地区、广东鼎湖山自然保护区和石门台自然保护区、广西部分地区。

1.3 分类研究方法

将野外采集的标本带回实验室进行分类，并逐一编号。将每一号标本 9 头以内个体制作成三角纸干制标本供鉴定使用，超过 9 头的个体制作成浸渍标本保存。依据国内主要蚂蚁分类著作^[5, 7, 18-20]，参考国外蚂蚁分类文献^[21-23]，借助世界蚂蚁在线名录、世界蚂蚁在线百科全书、世界蚂蚁在线图片库、世界蚂蚁分布地图数据库等全球蚂蚁研究网络数据库，运用形态分类方法将多刺蚁属标本逐一鉴定到种。

1.4 分布格局分析

采用捕获频数法^[17]研究多刺蚁属的分布格局，分别分析物种的水平分布、垂直分布、栖息生境、觅食场所和筑巢场所。发现蚁巢的采集场所记录为筑巢场所，未发现蚁巢的采集场所记录为觅食场所。依据物种的垂直分布高差，其生态适应幅度判定标准如下：垂直分布高差 < 500 m 为狭窄；500~999 m 为较窄；1 000~1 499 m 为中等；1 500~1 999 m 为较宽；≥ 2 000 m 宽阔^[24]。

1.5 生态位宽度计算

根据中国多刺蚁属物种的水平分布、垂直分布、栖息生境、觅食场所和筑巢场所的捕获频数对其生态位宽度进行测定。利用 Levins 指数^[25]和 Shannon-Wiener 指数^[26]，计算各资源状态中某物种分布的均匀度，评估该物种的生态位宽度。

1.6 数据处理

利用 Excel 2019 处理数据，使用 OriginPro 2024 绘图，生态位宽度使用 R.4.5.0 进行计算。

2 结果与分析

2.1 水平分布

经分类鉴定，共发现中国多刺蚁属物种 52 个（新增记录 2 个种，分别为蜘蛛多刺蚁 *P. arachne* 和鼠多刺蚁 *P. murina*）。这 52 个物种分布于全国 23 个省级行政单位，其中云南的物种最丰富，其次为广西，之后依次为广东、海南、香港、浙江、湖南、福建、贵州、台湾、湖北、江西、四川、西藏、澳门、安徽、河南、江苏、陕西、山东、甘肃、辽宁、上海。在 52 个物种中，叶形多刺蚁 *P. lamellidens* 和伊劳多刺蚁 *P. illaudata* 分布于 17 个省级行政单位，是分布范围最广的物种；其次是双齿多刺蚁 *P. dives*，分布于 15 个省级行政单位，警觉多刺蚁 *P. vigilan*、结多刺蚁 *P. rastellata* 和麦多刺蚁 *P. moesta* 分别分布于 12、11、9 个省级行政单位；侧多刺蚁 *P. latona*、德曼多刺蚁 *P. demangei*、哈氏多刺蚁 *P. halidayi* 这 3 个物种分布于 7 个省级行政单位，暴躁多刺蚁 *P. tyrannica*、渥氏多刺蚁 *P. wolffi*、刻点多刺蚁 *P. punctillata* 等 5 个物种分布于 5 个省级行政单位；始兴多刺蚁 *P. shixingensis*、驼背多刺蚁 *P. cyphonota*、费乐思多刺蚁 *P. fellowesi* 这 3 个物种分布于 4 个省级行政单位，红腹多刺蚁 *P. rubigastrica*、绒毛多刺蚁 *P. pubescens*、阿玛多刺蚁 *P. armata* 等 5 个物种分布于 3 个省级行政单位，条纹多刺蚁 *P. striata*、拟弓多刺蚁 *P. paracamponota*、二色多刺蚁 *P. bicolor* 等 7 个物种分布于 2 个省级行政单位，光胫多刺蚁 *P. tibialis*、圆顶多刺蚁 *P. rotocipita*、汤普森多刺蚁 *P. thompsoni* 等 23 个物种仅分布于 1 个省级行政单位。从捕获频数上看，不同物种在不同省份的捕获频数不尽相同，伊劳多刺蚁在云南的捕获频数最多（96 次），而角胸多刺蚁 *P. cornuhera* 和直刺多刺蚁 *P. euthiacaena* 仅在广西捕获过 1 次，汉吉克多刺蚁 *P. hunggeuk* 和皮特斯多刺蚁 *P. peetersi* 在香港捕获过 1 次，蜘蛛多刺蚁、天井山多刺蚁 *P. tianjingshanensis*、喇嘛多刺蚁 *P. lama* 和德比利多刺蚁 *P. debilis* 分别在云南、广东、西藏和台湾各捕获 1 次，分布范围十分较窄（表 1 和图 1）。

2.2 垂直分布

由图 2 可见：中国多刺蚁属物种分布于海拔 5~2 048 m 的范围内，其中在海拔 500~999 m 区段捕获的物种最多（29 个），其次是海拔 0~499 m（26 个）和海拔 1 000~1 499 m（24 个），在海拔 ≥ 2 000 m 区段捕获的物种最少（1 个）。可见中国多刺蚁属物种的垂直分布和丰富度表现出明显的海拔依赖性，集中分布于低、中海拔地区，对高海拔地区的适应性差。在 52 个物种中，巴卡多刺蚁 *P. bakana*、哈氏多刺蚁、伊劳多刺蚁和双齿多刺蚁这 4 个物种的生态适应幅度达到较宽水平；光胫多刺蚁、圆顶多刺蚁、汤普森多刺蚁等 5 个物种生态适应幅度处于中等水平；阿玛多刺蚁、拟弓多刺蚁、齿肩多刺蚁 *P. dentihumera*

表 1 (续)

Table 1 Continued

物种	省级行政单位采获频数																				合计			
	YN	GX	GD	HA	HK	ZJ	HU	FJ	GZ	TW	HB	JX	SC	XZ	MA	AH	HN	JS	SX	SD		GS	LN	SH
困惑多刺蚁 <i>P. confusa</i>	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
德比利多刺蚁 <i>P. debilis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
汉吉克多刺蚁 <i>P. hunggeuk</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
皮特斯多刺蚁 <i>P. peetersi</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
直刺多刺蚁 <i>P. euthiacaena</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
物种合计	32	27	20	13	13	12	10	9	9	9	7	5	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	
百分比/%	61.5	51.9	38.5	25	25	23.1	19.2	17.3	17.3	17.3	15.4	9.6	7.7	5.8	5.8	5.8	5.8	3.8	3.8	3.8	1.8	1.8	1.8	

说明：YN. 云南；GX. 广西；GD. 广东；HA. 海南；HK. 香港；ZJ. 浙江；HU. 湖南；FJ. 福建；GZ. 贵州；TW. 台湾；HB. 湖北；JX. 江西；SC. 四川；XZ. 西藏；MA. 澳门；AH. 安徽；HN. 河南；JS. 江苏；SX. 陕西；SD. 山东；GS. 甘肃；LN. 辽宁；SH. 上海。

等 9 个物种生态适应幅度处于较窄水平；三尖叉多刺蚁 *P. thrinax*、叶形多刺蚁、始兴多刺蚁等 34 个物种生态适应幅度处于狭窄水平。哈氏多刺蚁的垂直分布海拔最高，达 2 048 m；侧多刺蚁的垂直分布海拔最低，只有 5 m，可见不同物种的生态适应幅度差异明显(附表 1)。

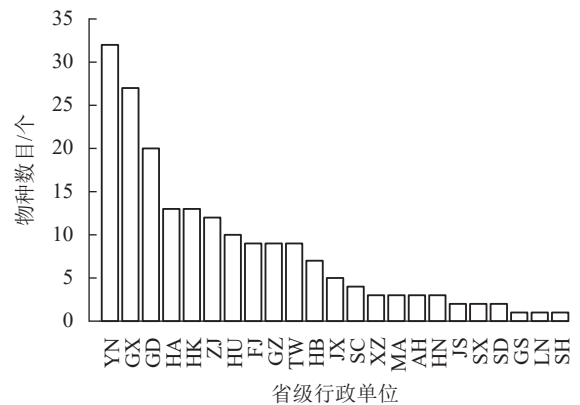
2.3 栖息生境

由图 3 可见：中国多刺蚁属物种的栖息生境有 8 类，不同栖息生境中物种丰富度从大到小依次为热带雨林、常绿阔叶林、针阔混交林、针叶林、落叶阔叶林、竹林、灌丛、草丛。在 52 个物种中，刻点多刺蚁的适应能力最强，可栖息于 7 类生境，之后栖息生境类型从多到少依次为邻多刺蚁 *P. proxima*、光胫多刺蚁和伊劳多刺蚁(6 类)，哈氏多刺蚁、结多刺蚁、拟弓多刺蚁和双齿多刺蚁(5 类)，二色多刺蚁和圆顶多刺蚁(4 类)，汤普森多刺蚁、巴卡多刺蚁、缅甸多刺蚁 *P. burmanensis* 和费乐斯多刺蚁(3 类)，阿玛多刺蚁、始兴多刺蚁、麦多刺蚁等 9 个物种(2 类)，三尖叉多刺蚁、双钩多刺蚁 *P. bihamata*、德曼多刺蚁等 29 个物种(1 类)。由此可知，不同蚂蚁物种栖息的生境及适应能力各有差异(附表 2)。

2.4 觅食和筑巢场所

从图 4A 可知：中国多刺蚁属物种的觅食场所有 6 类，不同觅食场所中物种丰富度从大到小依次为地表、植物上、土壤内、朽木内、朽木下、地被内。在发现觅食场所的 52 个物种中，哈氏多刺蚁的觅食场所最多(6 类)，之后觅食场所从多到少依次为伊劳多刺蚁(4 类)，巴卡多刺蚁、短胸多刺蚁 *P. brevicorpa*、光胫多刺蚁等 11 个物种(3 类)，阿玛多刺蚁、侧多刺蚁、叉多刺蚁 *P. furcata* 等 10 个物种(2 类)，缅甸多刺蚁、鼠多刺蚁、三尖叉多刺蚁等 29 个物种(1 类)。中国多刺蚁属物种主要在地表和植物上觅食，而在朽木下和地被内觅食的物种很少。

从图 4B 可知：中国多刺蚁属物种的筑巢场所有 8 类，不同筑巢场所中物种丰富度从大到小依次为树上巢、土壤巢、树上丝质巢、朽木内巢、地被内巢、石下巢、地表巢、朽木下巢。在发现筑巢场所的 20 个物种中，哈氏多刺蚁的筑巢场所最丰富，可以在 7 类场所中筑巢；双齿多刺蚁可在 3 类场所中筑巢，结多刺蚁和刻点多刺蚁可在 2 类场所中筑巢，伊劳多刺蚁、巴卡多刺蚁、光胫多刺蚁等 16 个物种均只在 1 类场所中筑巢。中国多刺蚁属物种主要在树上和土壤内筑巢，而在地表和朽木下筑巢的物种很少(附表 3)。



YN. 云南；GX. 广西；GD. 广东；HA. 海南；HK. 香港；ZJ. 浙江；HU. 湖南；FJ. 福建；GZ. 贵州；TW. 台湾；HB. 湖北；JX. 江西；SC. 四川；XZ. 西藏；MA. 澳门；AH. 安徽；HN. 河南；JS. 江苏；SX. 陕西；SD. 山东；GS. 甘肃；LN. 辽宁；SH. 上海。

图 1 中国多刺蚁属物种丰富度比较

Figure 1 Richness comparison of *Polyrhachis* species in China

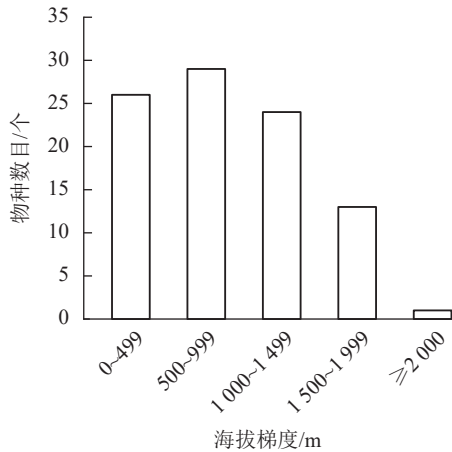


图2 中国多刺蚁属物种在不同海拔区段的丰富度比较

Figure 2 Richness comparison of *Polyrhachis* species in China under different altitude period

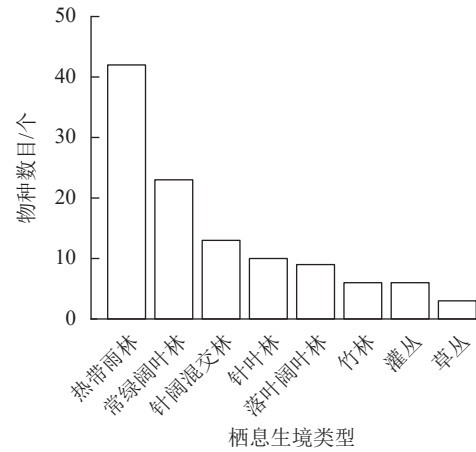


图3 中国多刺蚁属物种在各类栖息生境的丰富度比较

Figure 3 Richness comparison of *Polyrhachis* species in China under different habitat

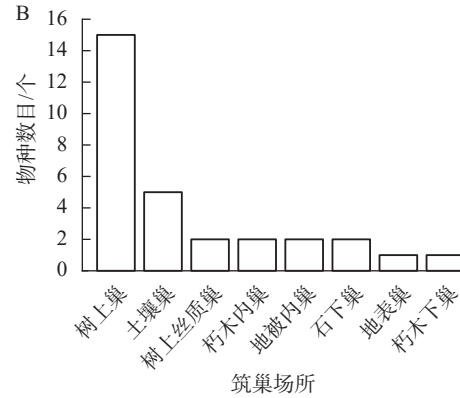
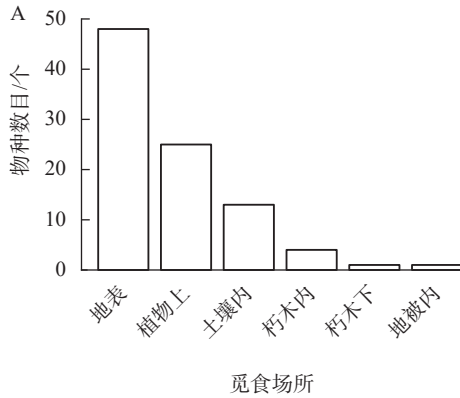


图4 中国多刺蚁属物种在各类觅食和筑巢场所中的丰富度比较

Figure 4 Richness comparison of *Polyrhachis* species in China under different foraging and nesting sites

2.5 生态位宽度

从表2可知：在水平生态位中，叶形多刺蚁的生态位宽度最宽，巴卡多刺蚁、又多刺蚁、齿肩多刺蚁等23个物种的生态位最窄。在垂直生态位中，伊劳多刺蚁的生态位宽度最宽，而侧多刺蚁、又多刺蚁、德比利多刺蚁等29个物种的生态位最窄。在栖息生境生态位中，伊劳多刺蚁的生态位宽度最宽，暴躁多刺蚁、侧多刺蚁和又多刺蚁等29个物种的生态位最窄。在觅食生态位中，红足多刺蚁 *P. rufipes* 的生态位宽度最宽，暴躁多刺蚁、齿肩多刺蚁、德比利多刺蚁等29个物种的生态位最窄。在筑巢生态位中，哈氏多刺蚁的生态位宽度最宽，阿玛多刺蚁、巴卡多刺蚁、又多刺蚁等16个物种的生态位最窄。从生态位总宽度值来看，双齿多刺蚁的生态位最宽，德比利多刺蚁、汉吉克多刺蚁、角胸多刺蚁等10个物种的生态位最窄，其余物种的生态位宽度介于两者之间。

3 讨论

全球已记录多刺蚁属物种709个，本研究记录中国多刺蚁属物种52个，占全球物种总数的7.3%。有研究认为：蚂蚁刺长与地理分布范围呈系统发育正相关，多刺蚁属的刺为其分布范围拓展的核心影响因素^[27]。在世界地理分布中，多刺蚁属物种呈现以东南亚为核心区域并向周边辐射递减的显著分布格局，邻近中国的生物多样性热点地区，泰国（记载67个物种）和缅甸（记载55个物种）的物种丰富度高于中国，印证了该属在热带及亚热带地区的分布优势。这种分布模式是气候适宜性、地理隔离与生态竞争等多重因素协同作用的结果。而在中国境内，多刺蚁属物种分布于23个省级行政单位，云南是核心分布区，合计分布32个物种，占全国已知物种总数的61.5%。云南是生物多样性最丰富的省份，这与其所

表 2 中国多刺蚁属物种的生态位宽度

Table 2 Niche width of *Polyrhachis* species in China

物种	水平分布		垂直分布		栖息生境		觅食场所		筑巢场所		生态位总宽度	
	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$
双齿多刺蚁 <i>P. dives</i>	6.91	2.26	3.01	1.02	3.22	1.32	2.17	0.84	2.45	1.00	17.76	6.65
结多刺蚁 <i>P. rastellata</i>	6.12	2.13	2.89	1.08	2.70	1.17	2.26	0.94	1.60	0.56	15.57	5.88
伊劳多刺蚁 <i>P. illaudata</i>	4.67	1.99	3.35	1.27	4.44	1.58	2.03	0.90	1.00	0.00	15.49	5.74
叶形多刺蚁 <i>P. lamellidens</i>	9.98	2.53	1.00	0.00	1.00	0.00	1.80	0.64	1.00	0.00	14.78	3.17
麦多刺蚁 <i>P. moesta</i>	6.28	2.01	1.80	0.64	1.80	0.64	1.80	0.64	-	-	11.68	3.92
哈氏多刺蚁 <i>P. halidayi</i>	1.66	0.94	1.69	0.79	1.81	0.90	2.04	1.08	3.94	1.54	11.13	5.25
邻多刺蚁 <i>P. proxima</i>	3.49	1.42	2.00	0.84	3.27	1.47	2.35	0.93	-	-	11.10	4.66
光胫多刺蚁 <i>P. tibialis</i>	1.00	0.00	2.68	1.08	3.86	1.46	2.06	0.86	1.00	0.00	10.60	3.40
刻点多刺蚁 <i>P. punctillata</i>	2.85	1.23	1.78	0.63	1.84	1.02	2.27	0.95	1.80	0.64	10.54	4.47
德曼多刺蚁 <i>P. demangei</i>	5.73	1.83	1.28	0.38	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	10.01	2.20
警觉多刺蚁 <i>P. vigilans</i>	6.95	2.18	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	9.95	2.18
圆顶多刺蚁 <i>P. rotoccipita</i>	1.00	0.00	2.85	1.07	2.41	1.01	2.11	0.85	1.00	0.00	9.36	2.92
江华多刺蚁 <i>P. jianghuaensis</i>	4.74	1.58	1.00	0.00	1.60	0.56	1.60	0.56	-	-	8.94	2.71
拟弓多刺蚁 <i>P. paracamponota</i>	1.18	0.28	2.12	0.82	2.30	1.11	2.11	0.90	1.00	0.00	8.71	3.11
始兴多刺蚁 <i>P. shixingensis</i>	4.00	1.39	1.47	0.50	1.80	0.64	1.00	0.00	-	-	8.27	2.52
二色多刺蚁 <i>P. bicolor</i>	1.14	0.24	1.78	0.76	1.85	0.90	1.86	0.66	1.00	0.00	7.63	2.55
奇多刺蚁 <i>P. hippomanes</i>	1.52	0.64	2.00	0.69	2.00	0.69	2.00	0.69	-	-	7.52	2.72
渥氏多刺蚁 <i>P. wolfi</i>	4.50	1.55	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	7.50	1.55
巴卡多刺蚁 <i>P. bakana</i>	1.00	0.00	2.38	1.09	1.52	0.64	1.59	0.68	1.00	0.00	7.48	2.41
双钩多刺蚁 <i>P. bihamata</i>	1.68	0.74	1.88	0.66	1.00	0.00	1.88	0.66	1.00	0.00	7.45	2.06
暴躁多刺蚁 <i>P. tyrannica</i>	4.00	1.47	1.38	0.45	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	7.38	1.92
缅甸多刺蚁 <i>P. burmanensis</i>	1.00	0.00	1.60	0.56	2.67	1.04	1.00	0.00	1.00	0.00	7.27	1.60
阿玛多刺蚁 <i>P. armata</i>	1.26	0.42	2.00	0.83	1.21	0.32	1.75	0.62	1.00	0.00	7.22	2.19
红足多刺蚁 <i>P. rufipes</i>	1.22	0.33	1.00	0.00	1.00	0.00	2.67	1.04	1.00	0.00	6.89	1.36
短胸多刺蚁 <i>P. brevicorpa</i>	1.00	0.00	1.96	0.68	1.69	0.60	1.81	0.80	-	-	6.46	2.08
绒毛多刺蚁 <i>P. pubescens</i>	2.18	0.89	1.38	0.45	1.80	0.64	1.00	0.00	-	-	6.37	1.97
驼背多刺蚁 <i>P. cyphonota</i>	2.58	1.15	1.00	0.00	1.00	0.00	1.60	0.56	-	-	6.18	1.72
汤普森多刺蚁 <i>P. thompsoni</i>	1.00	0.00	1.14	0.24	2.10	0.85	1.92	0.80	-	-	6.17	1.90
费乐思多刺蚁 <i>P. fellowesi</i>	2.29	1.07	1.00	0.00	1.68	0.74	1.00	0.00	-	-	5.97	1.81
叉多刺蚁 <i>P. furcata</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.80	0.64	1.00	0.00	5.80	0.64
红腹多刺蚁 <i>P. rubigastrica</i>	2.67	1.04	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	5.67	1.04
侧多刺蚁 <i>P. latona</i>	2.18	1.16	1.00	0.00	1.00	0.00	1.20	0.30	-	-	5.37	1.47
齿肩多刺蚁 <i>P. dentihumera</i>	1.00	0.00	2.00	0.87	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	5.00	0.87
蜘蛛多刺蚁 <i>P. arachne</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	2.00	0.69	1.00	0.00	-	-	5.00	0.69
周氏多刺蚁 <i>P. zhoui</i>	2.00	0.69	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	5.00	0.69
平滑多刺蚁 <i>P. laevigata</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	5.00	0.00
三尖叉多刺蚁 <i>P. thrinax</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	5.00	0.00
圆肩多刺蚁 <i>P. orbihumera</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	5.00	0.00
方肩多刺蚁 <i>P. cornihumera</i>	1.80	0.64	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.80	0.64
条纹多刺蚁 <i>P. striata</i>	1.60	0.56	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.60	0.56
困惑多刺蚁 <i>P. confusa</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.38	0.45	1.00	0.00	-	-	4.38	0.45
鼠多刺蚁 <i>P. murina</i>	1.22	0.33	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.22	0.33
德比利多刺蚁 <i>P. debilis</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
汉吉克多刺蚁 <i>P. hunggeuk</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
角胸多刺蚁 <i>P. cornuhumera</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
喇嘛多刺蚁 <i>P. lama</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
隆背多刺蚁 <i>P. gibba</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00

表2 (续)

Table 2 Continued

物种	水平分布		垂直分布		栖息生境		觅食场所		筑巢场所		生态位总宽度	
	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$	$B_{(L)i}$	$B_{(S)i}$
皮特斯多刺蚁 <i>P. peetersi</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
天井山多刺蚁 <i>P. tianjingshanensis</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
亚毛多刺蚁 <i>P. subpilosa</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
郑氏多刺蚁 <i>P. zhengi</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00
直刺多刺蚁 <i>P. euthiacaena</i>	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	-	-	4.00	0.00

说明： $B_{(L)i}$ 表示 Levins 指数； $B_{(S)i}$ 表示 Shannon-Wiener 指数；-表示没有数据未做分析。

处的地理位置有关，例如云南高黎贡山位于云南西部，连接着喜马拉雅、横断山脉以及印度-缅甸 3 个生物多样性热点地区，动植物区系具有南北过渡、区系交汇的显著特点，生物多样性高度密集^[19]。云南西双版纳地区生态环境与东南亚高度相似，其蚂蚁区系以热带至亚热带分布种为主要成分^[7]。由此可见，多刺蚁属物种偏爱炎热的气候条件，其物种多样性随纬度降低、气候变炎热而显著增加。从水平分布来看，多刺蚁属物种的水平分布范围差异极大，有 5 个物种分布于 11~17 个省级行政单位，有 24 个物种水平分布在 2~9 个省级行政单位，有 23 个物种仅分布于 1 个省级行政单位。可见，多刺蚁属物种的水平生态位分化明显，大多数物种水平分布范围狭窄。

有研究表明：蚂蚁的地理分布主要与其嗜热性有关，它们的起源中心和目前的多样性中心都位于热带地区^[28]。蚂蚁的丰富度随纬度的增加呈逐渐递减趋势，丰富度最高的地区集中在南方省份，气温是限制中国蚂蚁分布的最重要因素^[29]。海拔变化对动植物的分布具有显著影响^[30]。垂直分布能很好地显示不同物种的生态位分化情况^[31]。本研究表明：在多刺蚁属物种现有记录的海拔区间内，物种丰富度随海拔升高整体呈递减趋势。其中，500~999 m 海拔段物种数量最多， $\geq 2\ 000$ m 高海拔段仅发现 1 个物种，说明该属不同物种的海拔适应与分布特征存在明显分化。此外，多刺蚁属不同物种的垂直分布高差及生态适应幅度存在显著差异。其中，生态适应幅度较宽的物种有 4 个，中等适应幅度的物种有 5 个，适应幅度较窄的物种有 9 个，而适应幅度狭窄的物种多达 34 个；即便在生态适应幅度相同的物种间，其垂直分布高差也存在明显不同，这表明多刺蚁属物种在垂直分布上呈现出显著的生态位分化特征。

低纬度、低海拔条件优越的生境中植物种类丰富，可为蚂蚁提供更为复杂的食物资源、觅食场所和筑巢场所^[32]，而植被结构简单的生境可能导致树栖型蚂蚁物种减少^[33]。本研究发现：多刺蚁属物种的栖息生境很丰富，多达 8 类。不同生境中栖息的物种数量不尽相同，热带雨林的物种最丰富，多达 42 个物种，这与热带雨林复杂的植物群落有关，多层次的森林结构可为蚂蚁及其他昆虫提供多样的食物资源和居住空间^[7]；草丛中栖息的物种最少，只有 3 种，这与草丛相对简单的植物群落结构有关^[31]。另一方面，多刺蚁属物种对生境的依赖程度存在显著分化，生境利用格局差异明显。少数物种具备极强的环境适应能力，如刻点多刺蚁可栖息于 7 类生境，生态位幅度较宽；部分物种生境适应性中等，可栖息于 2~6 类生境，类群数量呈梯度分布，生境选择偏好存在一定差异；另有 29 个物种生境专一性极强，仅局限于单一生境类型，生态位空间极度狭窄。综上，多刺蚁属物种在生境利用方式与生态位宽度上分化显著，体现出差异化的环境适应策略。本研究发现：不同物种在同一类生境中的捕获频数不尽相同。可见，多刺蚁属物种在栖息生境方面表现出明显的生态位分化。

不同蚂蚁物种在种群规模、活动空间及觅食生境选择上均存在差异，觅食行为的场所利用偏好各不相同^[34]。本研究发现，中国多刺蚁属物种的觅食生境存在显著空间分异特征。其中，地表为其主要觅食环境，共记录 48 个物种；其次为植物表层，分布 25 个物种；土壤内觅食的物种相对有限，仅 13 个。朽木内部、朽木之下及地被层等微生境中觅食的物种稀少，各类生境分布的物种仅 1~4 个。从觅食场所选择来看，哈氏多刺蚁利用的场所类型最为丰富，可在 6 类微生境中活动觅食。其余物种生境利用幅度差异也比较明显。同时，不同物种在相同觅食场所中的捕获频数不尽相同，可见多刺蚁属物种在觅食场所方面表现出明显的生态位分化。

植被的多样性和生境的空间异质性对蚂蚁的筑巢、隐匿和食物资源有一定的影响^[35]。蚂蚁对筑巢场

所的选择首先要保证环境的稳定性及食物资源的丰富性，其次要考虑对热量的获取^[36]。蚂蚁树冠层筑巢概率与其耐热、耐寒及抗旱能力呈正相关，而与蚁群空间需求、实木挖掘能力、觅食活动范围及群落优势地位呈负相关^[37]。高大乔木可为蚁类提供优质栖息环境与充足食物资源，进而促进蚂蚁群落的稳定发展^[38]。本研究发现：多刺蚁属物种主要在植物上筑巢，构筑土壤巢相对较少，而在朽木内、地被内、石下、地表、朽木下筑巢的物种很少。从不同物种对筑巢场所的选择来看，哈氏多刺蚁的筑巢场所多达 7 类，双齿多刺蚁的筑巢场所只有 3 类；其余物种的筑巢场所十分有限；另有 32 个物种的筑巢场所尚不清楚。可见多刺蚁属物种在筑巢场所方面表现出一定程度的生态位分化。

生态位宽度是评估物种对资源环境利用程度的关键量化指标，可以反映物种在群落中的生态位置^[39]。生态位越宽，在现有资源谱上利用资源的能力越强，物种特化的程度越小，倾向于泛化种；相反，物种的生态位越窄，即更倾向于特化种，在资源竞争中处于劣势^[40]。本研究显示：多刺蚁属不同物种在水平分布、垂直分布、栖息生境、觅食场所、筑巢场所等方面的生态位宽度不尽相同。多刺蚁属不同物种的 Levins 指数总宽度为 1.00~17.76，Shannon-Wiener 指数总宽度为 0~6.65，物种之间呈现明显的梯度差异，表明该属不同物种的生态位分化明显。同时本研究也发现：多刺蚁属大部分物种生态位狭窄，对生境的依赖性很强，一旦所栖息的生境丧失或被破坏，很容易出现局部灭绝事件，在保护生物学中应当予以高度关注。

4 结论

本研究共记录多刺蚁属 52 个物种。分布格局分析表明：中国多刺蚁属在水平分布、垂直分布、栖息生境、觅食场所及筑巢场所等方面均存在明显的生态位分化。其中云南省的物种丰富度最高，双齿多刺蚁的生态位宽度最大，热带雨林生境的物种最丰富。该属物种主要以植物与地表为觅食场所，且多在树上筑巢。综上，多刺蚁属的物种空间分布格局受海拔梯度、气候因子、植被丰度等多重生态因子共同影响，多数物种的生态位宽度与生态适应幅度较狭窄，多为生境特化类群，进化竞争优势较弱。当其赖以生存的生境遭受干扰、破坏或退化丧失时，极易触发区域性物种灭绝事件。

5 致谢

在 1990—2025 年的野外调查期间，下列人员参与了多刺蚁属物种的野外调查和室内标本制作、鉴定等工作：西南林业大学蚂蚁研究团队成员胡刚、刘霞、杨比伦和张新民，西南林业大学研究生陈超、崔文夏、段艳、郭宁妍、和玉成、姜海波、李安娜、李彪、李春良、梅象信、祁彪、钱怡顺、史胜利、宋扬、杨俊武、杨蕊、杨忠文、赵梦乔、赵宇翔和诸慧琴，西南林业大学本科柴正群、陈志强、代色平、郝永强、何娟、何云峰、何宗辉、和作萍、蒋华、蒋兴成、赖玉初、李斌、李海斌、李继乖、李丽梅、李天生、柳太勇、龙启珍、罗丛凤、唐金奎、王亮、王玲、吴定敏、武必念、徐文川、袁定宇、曾光、张力、张宁、张鹏、赵远潮、赵忠良、郑莹和周兴国；下列人员赠送了部分多刺蚁属物种的标本和数据：中国科学院西双版纳热带植物园 Benjamin D. Blanchard 和杨效东，中国科学院昆明植物研究所陈高，河南大学张贝贝，云南大学张智英，深圳市农业科技促进中心王文荣，西南林业大学王邵军。特此一并致谢！

6 参考文献

- [1] LACH L, PARR C, ABBOTT K. *Ant Ecology*[M]. Oxford: Oxford University Press, 2009. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199544639.001.0001.
- [2] 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 Xiaohang, ZHANG Jintun. Niche analysis of dominant species of forest community in Xiaowutai Mountain, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(12): 3815–3826. DOI: 10.13287/j.1001-9332.201712.002.
- [3] 张光明, 谢寿昌. 生态位概念演变与展望[J]. *生态学杂志*, 1997, 16(6): 46–51. ZHANG Guangming, XIE Shouchang. Development of niche concept and its perspectives: a review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 1997, 16(6): 46–51. DOI: 10.13292/j.1000-4890.1997.0094.

- [4] SMITH F. Catalogue of the hymenopterous insects collected at Sarawak, Borneo; Mount Ophir, Malacca; and at Singapore, by A. R. Wallace[J]. *Journal of the Proceedings of the Linnean Society of London Zoology*, 1857, **2**(6): 42–88. DOI: [10.1111/j.1096-3642.1857.tb01759.x](https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1857.tb01759.x).
- [5] 王常禄, 吴坚. 中国多刺蚁属(膜翅目: 蚁科)昆虫研究[J]. *林业科学研究*, 1991, **4**(6): 596–601. WANG Changlu, WU Jian. Taxonomic studies on the genus *Polyrhachis* Mayr of China (Hymenoptera: Formicidae)[J]. *Forest Research*, 1991, **4**(6): 596–601. DOI: [10.13275/j.cnki.lykxyj.1991.06.002](https://doi.org/10.13275/j.cnki.lykxyj.1991.06.002).
- [6] 唐觉, 李参, 黄恩友, 等. 中国经济昆虫志, 第四十七册, 膜翅目, 蚁科(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1995. TANG Jue, LI Shen, HUANG Enyou, et al. *Economic Insect Fauna of China. Fasc. 47. Hymenoptera, Formicidae (I)* [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [7] 徐正会. 西双版纳自然保护区蚁科昆虫生物多样性研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002. XU Zhenghui. *A Study on the biodiversity of Formicidae Ants of Xishuangbanna Nature Reserve*[M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2002.
- [8] 周善义. 广西蚂蚁[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 2001. ZHOU Shanyi. *Ants of Guangxi*[M]. Guilin: Guangxi Normal University Press, 2001.
- [9] MEZGER D, MOREAU C S. Out of South-East Asia: phylogeny and biogeography of the spiny ant genus *Polyrhachis* Smith (Hymenoptera: Formicidae)[J]. *Systematic Entomology*, 2016, **41**(2): 369–378. DOI: [10.1111/syen.12163](https://doi.org/10.1111/syen.12163).
- [10] RIGATO F. The ant genus *Polyrhachis* F. Smith in sub-Saharan Africa, with descriptions of ten new species. (Hymenoptera: Formicidae)[J]. *Zootaxa*, 2016, **4088**(1): 26919103. DOI: [10.11646/zootaxa.4088.1.1](https://doi.org/10.11646/zootaxa.4088.1.1).
- [11] XU Zhenghui. Two new species of the ant genus *Polyrhachis* Smith from Yunnan, China (Hymenoptera: Formicidae)[J]. *Zoological Research*, 1998, **19**(3): 242–246.
- [12] 徐正会. 中国多刺蚁属驼背亚属系统分类研究(膜翅目: 蚁科)[J]. *昆虫学报*, 2002, **45**(4): 522–530. XU Zhenghui. A systematic study on the ant subgenus *Cyrtomyrma* Forel of the genus *Polyrhachis* Smith of China (Hymenoptera: Formicidae)[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, **45**(4): 522–530. DOI: [10.3321/j.issn:0454-6296.2002.04.019](https://doi.org/10.3321/j.issn:0454-6296.2002.04.019).
- [13] QIAN Fang, ZHOU Shanyi. A new species of the ant genus *Polyrhachis* Smith (Hymenoptera: Formicidae) from Guangdong Province, China[J]. *Entomotaxonomia*, 2008, **30**(2): 147–150. DOI: [10.3969/j.issn.1000-7482.2008.02.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-7482.2008.02.009).
- [14] WONG T L, GUÉNARD B. Review of ants from the genus *Polyrhachis* Smith (Hymenoptera: Formicidae: Formicinae) in Hong Kong and Macao, with notes on their natural history[J]. *Asian Myrmecology*, 2020, **13**: e013001. DOI: [10.20362/am.013001](https://doi.org/10.20362/am.013001).
- [15] CHEN Defu, WU Zhuanghuai, LIANG Mingrong, et al. A new ant species of the ant genus *Polyrhachis* Smith from the aequalis-group in China[J]. *Asian Myrmecology*, 2025, **18**: e018008. DOI: [10.20362/am.018008](https://doi.org/10.20362/am.018008).
- [16] 徐正会, 曾光, 柳太勇, 等. 西双版纳地区不同植被亚型蚁科昆虫群落研究[J]. *动物学研究*, 1999, **20**(2): 118–125. XU Zhenghui, ZENG Guang, LIU Taiyong, et al. A study on communities of Formicidae ants in different subtypes of vegetation in Xishuangbanna district of China[J]. *Zoological Research*, 1999, **20**(2): 118–125.
- [17] 徐正会, 褚姣姣, 张成林, 等. 藏东南工布自然保护区的蚂蚁种类及分布格局[J]. *四川动物*, 2011, **30**(1): 118–123. XU Zhenghui, CHU Jiaojiao, ZHANG Chenglin, et al. Ant species and distribution pattern in Gongbo Nature Reserve in southeastern Tibet[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2011, **30**(1): 118–123. DOI: [10.3969/j.issn.1000-7083.2011.01.031](https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-7083.2011.01.031).
- [18] 吴坚. 中国蚂蚁[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995. WU Jian. *The Ants of China*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1995.
- [19] 徐正会, 姜明, 杨桂良, 等. 高黎贡山蚂蚁图鉴[M]. 北京: 中国林业出版社, 2022. XU Zhenghui, JIANG Ming, YANG Guiliang, et al. *Pictorial Book of Ants of Mt. Gaoligong*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2022.
- [20] 徐正会. 西南林业大学馆藏蚂蚁模式标本[M]. 北京: 中国林业出版社, 2024. XU Zhenghui. *Type Specimens of Ants Housed in Southwest Forestry University*[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2024.
- [21] WHEELER W M. A list of the known Chinese ants[J]. *Peking Natural History Bulletin*, 1930, **5**: 53–81.
- [22] HÖLDOBLER B, WILSON E O. *The Ants*[M]. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1990.
- [23] GUÉNARD B, DUNN R R. A checklist of the ants of China[J]. *Zootaxa*, 2012, **3558**(1): 1–77. DOI: [10.11646/zootaxa.3558.1.1](https://doi.org/10.11646/zootaxa.3558.1.1).
- [24] 于娜娜, 徐正会, 张成林, 等. 藏东南色季拉山蚂蚁物种的分布格局[J]. *北京林业大学学报*, 2011, **33**(5): 75–80. YU Na'na, XU Zhenghui, ZHANG Chenglin, et al. Distribution patterns of ant species from Mount Sejila, southeastern Tibet[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2011, **33**(5): 75–80. DOI: [10.13332/j.1000-1522.2011.05.002](https://doi.org/10.13332/j.1000-1522.2011.05.002).

- [25] COLWELL R K, FUTUYMA D J. On the measurement of niche breadth and overlap[J]. *Ecology*, 1971, **52**(4): 567–576. DOI: [10.2307/1934144](https://doi.org/10.2307/1934144).
- [26] SHANNON C E, WEAVER W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1949: 55–58.
- [27] BLANCHARD B D, MOREAU C S. Defensive spines are associated with large geographic range but not diversification in spiny ants (Hymenoptera: Formicidae: *Polyrhachis*)[J]. *Systematic Entomology*, 2023, **48**(2): 328–340. DOI: [10.1111/syen.12578](https://doi.org/10.1111/syen.12578).
- [28] DUNN R R, AGOSTI D, ANDERSEN A N, *et al.* Climatic drivers of hemispheric asymmetry in global patterns of ant species richness[J]. *Ecology Letters*, 2009, **12**(4): 324–333. DOI: [10.1111/j.1461-0248.2009.01291.x](https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01291.x).
- [29] 沈梦伟, 陈圣宾, 毕孟杰, 等. 中国蚂蚁丰富度地理分布格局及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2016, **36**(23): 7732–7739. SHEN Mengwei, CHEN Shengbin, BI Mengjie, *et al.* Relationships between geographic patterns of ant species richness and environmental factors in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, **36**(23): 7732–7739. DOI: [10.5846/stxb201510312201](https://doi.org/10.5846/stxb201510312201).
- [30] 刘秉儒. 生物多样性的海拔分布格局研究及进展[J]. *生态环境学报*, 2021, **30**(2): 438–444. LIU Bingru. Recent advances in altitudinal distribution patterns of biodiversity[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2021, **30**(2): 438–444. DOI: [10.16258/j.cnki.1674-5906.2021.02.0025](https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2021.02.0025).
- [31] 李文琼, 徐正会, 周雪英, 等. 喜马拉雅山珠峰段蚂蚁物种的分布格局[J]. *环境昆虫学报*, 2017, **39**(5): 1054–1062. LI Wenqiong, XU Zhenghui, ZHOU Xueying, *et al.* Distribution patterns of ant species from Mount Everest Section of Mt. Himalaya[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, **39**(5): 1054–1062.
- [32] MCGLYNN T P. Ants on the move: resource limitation of a litter-nesting ant community in costa Rica[J]. *Biotropica*, 2006, **38**(3): 419–427. DOI: [10.1111/j.1744-7429.2006.00153.x](https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00153.x).
- [33] SHIK J Z, KASPARI M. More food, less habitat: how necromass and leaf litter decomposition combine to regulate a litter ant community[J]. *Ecological Entomology*, 2010, **35**(2): 158–165. DOI: [10.1111/j.1365-2311.2009.01165.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2009.01165.x).
- [34] 冷雪艳, 诸慧琴, 徐正会, 等. 滇北金沙江干热河谷蚂蚁物种的分布格局[J]. *贵州农业科学*, 2025, **53**(12): 82–98. LENG Xueyan, ZHU Huiqin, XU Zhenghui, *et al.* Distribution pattern of ant species in Jinsha River dry-hot valley of Northern Yunnan[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2025, **53**(12): 82–98. DOI: [10.3969/j.issn.1001-3601.2025.12.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-3601.2025.12.010).
- [35] 罗昕裕, 周昭敏. 3种城市生境间蚂蚁群落组成的比较研究——以四川省南充市城区为例[J]. *四川动物*, 2020, **39**(2): 148–155. LUO Xinyu, ZHOU Zhaomin. Comparison of ant community composition among three urban habitats: a case study in Nanchong, Sichuan[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2020, **39**(2): 148–155. DOI: [10.11984/j.issn.1000-7083.20190070](https://doi.org/10.11984/j.issn.1000-7083.20190070).
- [36] 李婷, 徐正会, 李彪, 等. 四川大凉山东部地区蚂蚁物种分布特征[J]. *广西师范大学学报(自然科学版)*, 2023, **41**(1): 174–191. LI Ting, XU Zhenghui, LI Biao, *et al.* Distribution characteristics of ant species in eastern Daliangshan of Sichuan, China[J]. *Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2023, **41**(1): 174–191. DOI: [10.16088/j.issn.1001-6600.2021100907](https://doi.org/10.16088/j.issn.1001-6600.2021100907).
- [37] SEIFERT B. The Ants of central European tree canopies (Hymenoptera: Formicidae): an underestimated population?[M] //Floren A, Schmid J. *Canopy Arthropod Research in Europe*. Nürnberg: Bioform Entomology & Equipment, 2008.
- [38] 农正国, 熊忠平, 徐正会, 等. 新疆天山中-西段不同垂直带蚂蚁物种多样性[J]. *浙江农林大学学报*, 2025, **42**(1): 143–152. NONG Zhengguo, XIONG Zhongping, XU Zhenghui, *et al.* Ant diversity along gradient in the middle-western section of Tianshan Mountains in Xinjiang[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2025, **42**(1): 143–152. DOI: [10.11833/j.issn.2095-0756.20240244](https://doi.org/10.11833/j.issn.2095-0756.20240244).
- [39] 黄浩, 吴文骁, 吕江波, 等. 浙江建德楠木林优势树种生态位及种间联结性[J]. *浙江农林大学学报*, 2025, **42**(2): 329–338. HUANG Hao, WU Wenxiao, LÜ Jiangbo, *et al.* Ecological niche and interspecific association of dominant tree species in a *Machilus* and *Phoebe* forest in Jiande, Zhejiang Province[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2025, **42**(2): 329–338. DOI: [10.11833/j.issn.2095-0756.20240378](https://doi.org/10.11833/j.issn.2095-0756.20240378).
- [40] 王利清, 张福顺, 杨玉平, 等. 鄂尔多斯沙地不同生境中啮齿动物的生态位特征[J]. *中国草地学报*, 2020, **42**(5): 151–156. WANG Liqing, ZHANG Fushun, YANG Yuping, *et al.* Niche characteristics of rodents in different habitats in Kubuqi sandy land[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2020, **42**(5): 151–156. DOI: [10.16742/j.zgdxsb.20190264](https://doi.org/10.16742/j.zgdxsb.20190264).