

DOI: 10.20152/j.np.202412310137

吴齐, 邓小祥, 亓秀金, 吕浩, 朱路, 禹瑞敏, 王秋月, 陈远, 周满, 程瑾, 罗毅波. 濒危植物合欢盆距兰种群和群落特征及保育策略. 国家公园(中英文), 2025, 3(3): 154-167.

Wu Q, Deng X X, Qi X J, Lü H, Zhu L, Yu R M, Wang Q Y, Chen Y, Zhou M, Cheng J, Luo Y B. Characteristics and conservation strategies of the endangered *Gastrochilus rantabunensis* (Orchidaceae). National Park, 2025, 3(3): 154-167.

濒危植物合欢盆距兰种群和群落特征及保育策略

吴齐¹, 邓小祥², 亓秀金¹, 吕浩³, 朱路³, 禹瑞敏¹, 王秋月¹, 陈远⁴, 周满⁵, 程瑾^{1,*}, 罗毅波⁶

1 北京林业大学生物科学与技术学院, 林木资源高效生产全国重点实验室, 林木育种与生态修复国家工程研究中心, 北京 100083

2 湖南省新宁县林业局, 邵阳 422700

3 湖南省植物园, 长沙 410116

4 新宁县舜皇山国有林场, 邵阳 422707

5 湖南崑山恒源国际旅游发展有限公司, 邵阳 422700

6 中国科学院植物研究所植物多样性与特色经济作物全国重点实验室, 北京 100093

摘要: 合欢盆距兰 (*Gastrochilus rantabunensis*) 是中国特有的极小种群野生植物, 其已知种群均分布于人为干扰频繁的森林边缘, 生境破碎化严重。为科学有效地推进其保育工作, 通过野外调查系统解析了合欢盆距兰的生境特点、附生特性及群落特征。结果表明湖南省新宁县和会同县共有6个合欢盆距兰种群, 种群间个体数量差异显著, 总个体数约700株。各种群均位于居民区附近的森林边缘区域, 种群分布范围小, 且部分生境开始退化。合欢盆距兰的主要宿主为黄连木, 其分布模式受宿主落叶性和健康状况影响, 附生高度与宿主高度和胸径呈正相关; 群落间物种相似度较低, 但包含部分共有种。合欢盆距兰偏好沿水渠或溪流的森林边缘生境, 可能是其适应研究区域内气候的特殊策略。人为干扰可能有助于创造合欢盆距兰适宜的生境, 但持续性干扰可能产生胁迫。基于上述研究结果, 建议通过异交授粉结合种子无菌萌发技术扩繁幼苗并回归原生境, 以提升种群遗传多样性和维持种群规模; 以国家公园或自然保护区中利于长期监测的临水森林边缘生境为试点, 优先选择黄连木为宿主实施迁地保护和回归; 同时需建立长期监测体系, 通过保护小区设立、生境维护以及科普教育等措施系统推进合欢盆距兰的保护工作。研究能够为以单一物种为保护对象的保护小区建设提供实践方针, 并为其他极小种群物种的生态恢复策略提供参考。

关键词: 极小种群; 合欢盆距兰; 种群调查; 附生; 森林边缘; 保护策略

Characteristics and conservation strategies of the endangered *Gastrochilus rantabunensis* (Orchidaceae)

WU Qi¹, DENG Xiaoxiang², QI Xiujin¹, LÜ Hao³, ZHU Lu³, YU Ruimin¹, WANG Qiuyue¹, CHEN Yuan⁴, ZHOU Man⁵, CHENG Jin^{1,*}, LUO Yibo⁶

1 State Key Laboratory of Efficient Production of Forest Resources, National Engineering Research Center of Tree breeding and Ecological Restoration, College of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Hunan Xinning County Forestry Bureau, Shaoyang 422700, China

3 Hunan Botanical Garden, Changsha 410116, China

4 Xinning County Shunhuangshan State-owned forest farm, Shaoyang 422707, China

5 Hunan Langshan Hengyuan International Tourism Development Co.ltd., Shaoyang 422700, China

6 State Key Laboratory of Plant Diversity and Specialty Crops, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

基金项目: 国家重点研发计划重点专项课题(2022YFF1301401); 湖南省中央预算内基建资金极小种群野生动植物资源拯救项目(2021年—2025年)

收稿日期: 2024-12-31; **采用日期:** 2025-03-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: chengjin@bjfu.edu.cn

Abstract: *Gastrochilus rantabunensis* (Orchidaceae) is an endemic plant species to China with extremely small populations. The known populations are situated at the forest edges frequently affected by human disturbances and face severe threats from habitat fragmentation. Through systematic field surveys, this study delves into the habitat characteristics, epiphytic patterns and community structure of this species. The results indicate the presence of six populations in Xinning County and Huitong County, Hunan Province, with an estimated 700 individuals in total. However, the number of individuals varies significantly between populations. All populations are located near residential areas at the forest edges with limited distribution, and some habitats show signs of degradation. This species primarily grows as an epiphyte on *Pistacia chinensis*, with its distribution pattern significantly influenced by the host tree's deciduous nature and health status. There is a positive correlation between the epiphytic height and the host tree's height and diameter at breast height. Species similarity across communities is low, although they shared a certain number of common species. Notably, *G. rantabunensis* prefers forest edge habitats along ditches or streams, possibly reflecting its adaptation to specific local climate conditions. Moderate anthropogenic disturbance might help create suitable habitats, but continuous interference could have negative effects. Based on these findings, the following recommendations are proposed. Artificial propagation through cross-pollination combined with seed aseptic germination techniques to enhance genetic diversity and maintain population size and genotype diversity. With *Pistacia chinensis* as the main epiphytic host, forest edge habitats adjacent to water within national parks or nature reserves, which facilitate long-term monitoring, should be prioritized for ex situ conservation and reintroduction trials. It is suggested to establish a long-term monitoring system and systematically advance conservation efforts through protected areas, maintain habitat integrity, and engage in public education. This study not only provides practical guidance for constructing conservation areas focused on single-species protection, but also offers scientific references for developing ecological restoration strategies for other species with extremely small populations.

Key Words: plant species with extremely small population; *Gastrochilus rantabunensis*; population investigation; epiphytes; forest edges; conservation strategies

兰科包含超过 28000 个物种,其中约 70%为附生类型^[1]。这些附生兰占有附生维管植物总量的 2/3 以上,能够为动物和微生物提供食物和栖息地,是生态系统的重要组成部分^[1-2]。由于附生兰科植物生长缓慢,需要较长的时间才能进入繁殖期,一旦生境和种群遭到破坏,难以在短时间内恢复^[3-4]。因此,综合研究附生兰科植物的生物和生态学特性、种群和群落等特征是制定针对性保育策略的重要基础。

生境破碎化通常被认为是造成陆地生态系统生物多样性丧失的主要因素,也是诸多附生兰科植物处于濒危状态的关键原因^[5-6]。破碎化的生境和人为干扰会影响传粉效率和繁殖成功率^[7-8],同时会降低植物种群稳定性、增长率和密度^[9]。值得注意的是,森林边缘生物多样性高,光环境常快速变化,在物理、化学、生物因子等方面都与郁闭的森林内部有显著区别^[10-11]。森林边缘常有适应林窗环境的植物及传粉者分布^[12-14]。因此,对于森林边缘生境依赖性物种,在缺乏有效的恢复策略前,暂时保留森林边缘生境作为过渡性保护方案是最佳选择。

完全附生植物(Holo-epiphytes)的整个生命周期都在其宿主上完成,其分布与生长受宿主特性及群落微生境的共同调控^[15-16]。例如,宿主树皮理化性质、微生物群落以及宿主不同位置上非生物环境因子的差异都会影响附生植物的分布^[17-18]。许多附生兰科植物对宿主具有偏好性^[19-21],且不同物种甚至处于不同生活史阶段的同一物种可能会偏好附生在宿主的的不同位置^[22-23]。在宿主的生长发育过程中,宿主上微环境变化直接影响附生兰科植物在宿主上的附生位置、丰度以及丰富度^[16, 24]。一般来说,宿主胸径对包括附生兰科植物在内的附生维管植物的丰度和丰富度有正向影响^[16, 21, 24-25],但有时也会呈现出中性关系^[23-24]。宿主周围群落结构也会影响附生兰科植物所处群落和宿主微环境的稳定性^[16, 19, 26]。鉴于不同附生兰科植物附生习性的差异性,全面了解其基本附生特性是开展附生兰科植物的迁地保护和回归工作的前提^[17, 23, 27]。

盆距兰属 (*Gastrochilus* D. Don) 包括 80 个物种,广泛分布在亚洲热带和亚热带地区^[28–29]。栖息地严重分割、退化以及植株数量减少是盆距兰属植物受到的主要威胁^[5, 30–31]。合欢盆距兰 (*G. rantabunensis*) 为多年生常绿附生草本,是我国特有的濒危极小种群物种^[5, 32]。2008 年合欢盆距兰在湖南省邵阳市新宁县崑山被发现,2021 年又在新宁县西冲村居民区枯死木上发现了该物种^[33],2024 年怀化市会同县向阳村新增 1 个新的合欢盆距兰分布记录^[34]。当前发现的 3 个合欢盆距兰种群都生长在海拔 600 m 以下的低海拔地区,远低于《中国植物志》中记载的海拔(2000 m 以上)^[32]。海拔和太阳辐射、温度等环境因子之间有很强的相关性,不同海拔地区的植被类型、植物形态以及植物适应环境胁迫的能力有显著差异^[35–37]。我国分布的 47 种盆距兰属植物中,约 64% 的物种仅生长在中高海拔地区(海拔 ≥ 1000 m),约 21% 的物种在低海拔区域和中高海拔区域都有分布^[29, 32]。因此,对合欢盆距兰种群和群落开展深入研究,全面掌握其地理分布、种群现状和生境特征,可为探讨盆距兰属在低海拔地区的适应性进化机制提供新证据,并为合欢盆距兰野外种群有效保护方案的制定提供科学基础。

本研究以中国大陆已报道的合欢盆距兰分布区为核心研究区域,通过种群和群落调查,解析合欢盆距兰的生境特点、附生特性及群落特征,拟解决以下 3 个科学问题:(1) 湖南西南部合欢盆距兰种群的现状与生境特点;(2) 合欢盆距兰的附生特性与宿主及群落特征的关联性;(3) 基于研究结果提出极小种群物种合欢盆距兰的科学保护策略。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

邵阳市新宁县(110°25′53″—111°18′34″E, 26°13′06″—26°55′21″N)和怀化市会同县(109°26′20″—110°08′40″E, 26°40′02″—27°09′13″N)均位于湖南省西南部,同属中亚热带季风性湿润气候,地形以丘陵山地为主。两县年均气温均为 17℃,其中新宁县年均降水量 1331 mm、相对湿度 81%,会同县分别为 1275 mm 和 87%^[38–41]。

1.2 数据收集

本研究于 2021 年和 2024 年分别在新宁县和会同县开展合欢盆距兰调查,期间持续关注新宁县各种群的自然结实情况。鉴于合欢盆距兰为附生兰科植物,对微环境变化敏感,规避道路、房屋和农业用地后,将样地长度设置为 30 m、60 m 或 120 m,宽度设置为 10 m、20 m 或 30 m。为便于开展就地和迁地保护工作,同步调查了所处群落周边及相似生境的植被。调查内容包括海拔、人为干扰程度、维管植物种类、乔木的数量及树高、胸径(Diameter at breast height, DBH)、合欢盆距兰数量。统计 9 棵宿主上合欢盆距兰的附生高度(树干基部到首个合欢盆距兰生长位置的垂直距离)。使用风向风速仪 Kestrel 5500 和光合有效辐射计 3415F LightScout,在老渡村种群 3 所处群落(群落 3)和附近密林(群落 3A)连续 3 天监测风速和光合有效辐射,监测时间为 7:30—18:00,每隔 1.5 h 记录 1 次数据。

1.3 数据分析方法

基于方精云等的方法计算群落中乔木层的重要值(*IV*)^[42],确定群落优势种。样地中胸径 < 2.0 cm 及高度 < 1.5 m 的乔木记为幼树,超过 20 棵的毛竹 (*Phyllostachys edulis*)、油茶 (*Camellia oleifera*) 和甜橙 (*Citrus sinensis*) 直接列为优势种,不参与乔木层重要值计算。

重要值计算公式如下:

$$IV = [RA + RF + RP] / 3$$

式中: *RA*(相对多度) = (该种的株数/样地中所有种的总株数) × 100%

RF(相对频度) = (该种在统计样地中出现的次数/所有种出现的总次数) × 100%

RP(相对优势度) = (该种所有个体的胸高断面积之和/所有种个体的胸高断面积之和) × 100%

采用回归分析法检验宿主高度和胸径对合欢盆距兰附生高度的影响,并拟合回归方程。分别采用独立样本 *t* 检验和 Mann-Whitney U 检验比较风速和光和有效辐射数据的差异。数据处理与可视化通过 Excel 2016

和 Origin 2021 实现。

2 结果与分析

2.1 合欢盆距兰的种群现状和生境特征

本次调查了 6 个合欢盆距兰种群(其所处群落编号为群落 1—6),其中崑山种群 1、西冲村种群 2、老渡村种群 3 和猫儿坛种群 4 位于新宁县,向阳村种群 5 和马田村种群 6 位于会同县,6 个种群的分布海拔为 265—557 m(表 1)。合欢盆距兰附生在 5 种 13 棵宿主上,总个体数约 700 株,种群间个体数量差异显著(表 1)。所有种群均处于居民区附近的森林边缘,受到中度或强度的人为干扰。群落 1 和 6 主要受到交通干扰,群落 2—5 受到农业耕作、脐橙林管护、水渠洗涤及车辆通行等多种干扰。除群落 1 外,其余群落均处于村落水渠或溪流旁(图 1,表 1)。



图 1 合欢盆距兰生境

Fig.1 Habitat of *G. rantabunensis*

群落 1:崑山种群 1 所处群落;群落 2:西冲村种群 2 所处群落;群落 3:老渡村种群 3 所处群落;群落 4:猫儿坛种群 4 所处群落;群落 5:向阳村种群 5 所处群落;群落 6:马田村种群 6 所处群落;五边形标记合欢盆距兰宿主的树干或树冠位置

表 1 合欢盆距兰生境特征及自然概况

Table 1 Habitat characteristics and natural status of *G. rantabunensis*

群落 Community	海拔 Altitude/m	样地面积 Plot area/ (m×m)	人为干扰强度和生境特征 Artificial disturbance intensity and habitat characteristic	宿主 Host tree	宿主高度 The height of host tree/m	宿主胸径 The DBH of host tree/cm	合欢盆距兰数量 Number of <i>G. rantabunensis</i>
群落 1 Community 1	430	120×30	中,深山中小路上方	1 棵福建青冈	17	54	约 150 株
群落 2 Community 2	329	60×30	强,村落路边、水渠上方	1 棵乌桕(死亡) 1 棵侧柏(死亡)	8.5 14.7	54.5 35.5	约 30 株 约 170 株
群落 3 Community 3	407	30×30	强,公路下方、水渠附近	6 棵黄连木 1 棵小叶栎	4—16 13	10.8—38.2 50	约 140 株 约 60 株
群落 4 Community 4	293	30×30	强,村落路边、溪流上方	1 棵黄连木	17	60	1 株
群落 5 Community 5	557	60×10	强,村落路边、溪流上方	1 棵黄连木	18	40	约 100 株
群落 6 Community 6	265	120×20	中,村落小范围树林中,溪流上方	1 棵黄连木	30	104	约 50 株

群落 1:崑山种群 1 所处群落;群落 2:西冲村种群 2 所处群落;群落 3:老渡村种群 3 所处群落;群落 4:猫儿坛种群 4 所处群落;群落 5:向阳村种群 5 所处群落;群落 6:马田村种群 6 所处群落;DBH:胸径 Diameter at breast height

2021—2023 年,新宁县 4 个种群未发现自然结实,而 2024 年对所有种群的自然结实情况统计发现,猫儿坛种群 4 有 5 个蒴果,向阳村种群 5 和马田村种群 6 均有超过 10 个蒴果。此外,崑山种群 1、西冲村种群 2 和向阳村种群 5 存在枝条断裂或树皮脱落导致的合欢盆距兰植株掉落死亡现象。森林边缘老渡村种群 3 所处群落(群落 3)比附近密林群落 3A 的风速和光合有效辐射更高,波动幅度更大(图 2)。

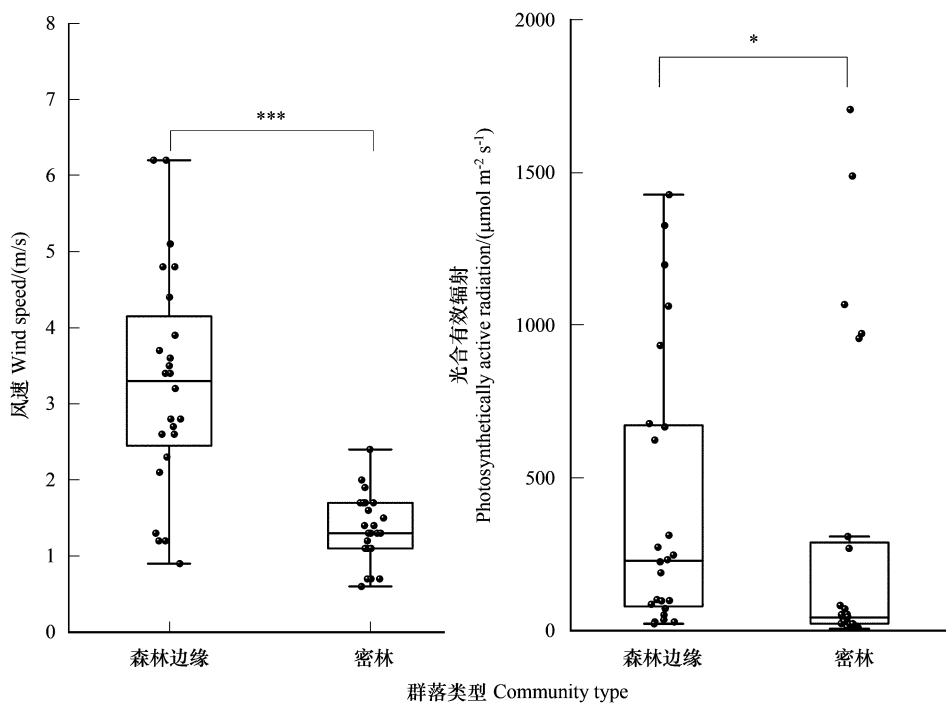


图 2 森林边缘群落 3 和附近密林 3A 的风速和光合有效辐射

Fig.2 Wind speed and photosynthetically active radiation in the forest-edge community (Community 3) and adjacent dense forest (Community 3A)

*, *** 分别表示 $P < 0.05$, $P < 0.001$

2.2 合欢盆距兰的附生特性

合欢盆距兰共有 5 种宿主:黄连木 (*Pistacia chinensis*, 9 棵)、福建青冈 (*Quercus chungii*, 1 棵)、乌桕 (*Triadica sebifera*, 1 棵)、侧柏 (*Platycladus orientalis*, 1 棵)和小叶栎 (*Q. chenii*, 1 棵)。黄连木是 4 个群落中合欢盆距兰的宿主,占有宿主数量的 70%左右,是合欢盆距兰的主要宿主。合欢盆距兰附生高度多始于宿主约 1/3 高度处,与宿主树高和胸径之间均存在良好的正相关关系 ($R^2 > 0.8$) (图 3)。附生分布特征因宿主而异,在福建青冈上多数附生在树冠中上部的枝条上,在乌桕、黄连木和小叶栎上多数附生在树冠中下部的枝干上,而在侧柏几乎整个冠层都有分布。主要附生位置在横生或斜生的枝条下方,仅少数小型个体生长在枝条上方。此外,在空气湿度较大的雨季,斜生枝条下方苔藓富集区域易发生树皮脱落,连带附生植株掉落(图 4)。

仅就所有黄连木宿主分析,合欢盆距兰附生数量与黄连木大小(胸径和树高)之间没有明确的线性关系(表 1)。但群落 3 中最小的 2 棵黄连木上附生的合欢盆距兰株数分别为 1 和 5,显著少于群落 3 中其他较大的黄连木上的合欢盆距兰数量(表 1),暗示同一群落的不同宿主间,宿主大小与附生数量间存在正相关趋势。常绿宿主(福建青冈、侧柏)上合欢盆距兰数量显著高于落叶宿主(黄连木、乌桕和小叶栎)。此外,由于除黄连木外的其他宿主均只有 1 棵,无法判断合欢盆距兰附生数量与宿主种类的关系(表 1)。

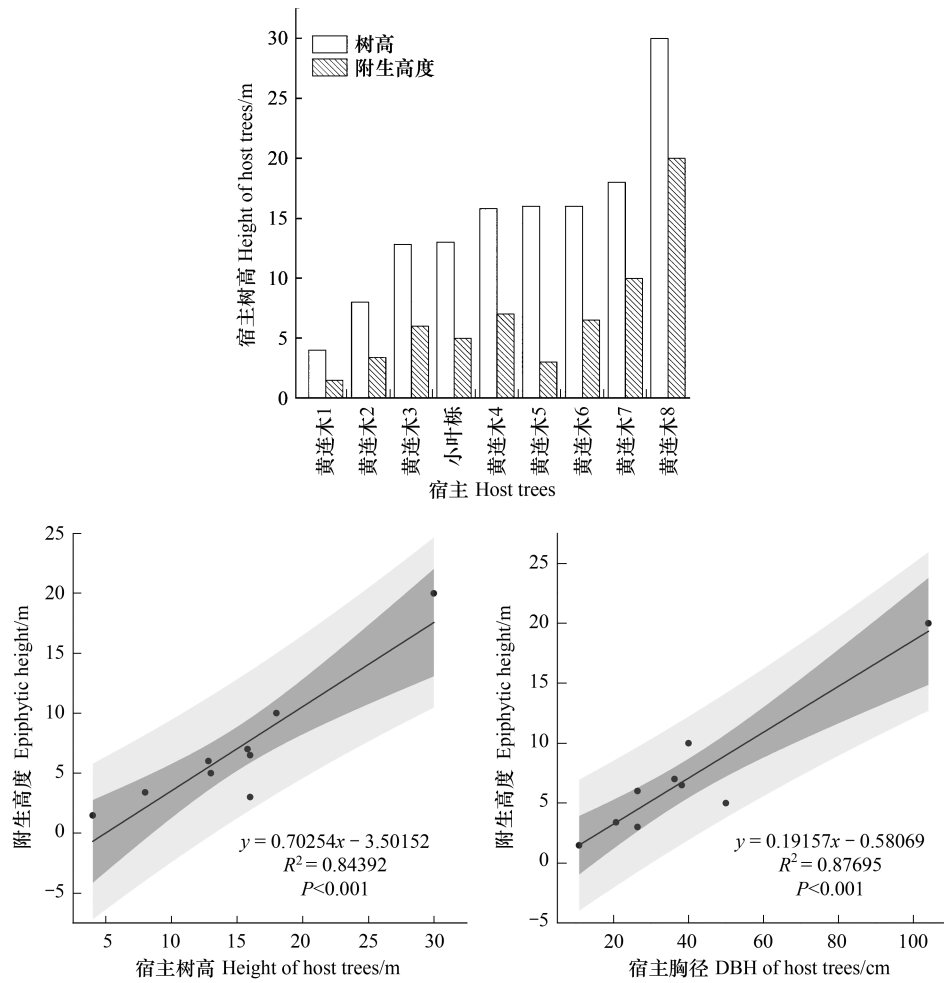


图3 合欢盆距兰附生高度和宿主的高度、胸径的相关性分析

Fig.3 Relationships between epiphytic height of *G. rantabunensis* and either the height or the DBH of their host trees

灰色和浅灰色阴影为 95%置信带区间和预测带区间



图4 不同宿主上的合欢盆距兰植株

Fig.4 *G. rantabunensis* on different host trees

2.3 合欢盆距兰所处群落的特征

2.3.1 群落的物种组成

合欢盆距兰已知所有群落内共有 48 科 76 属 88 种维管植物(表 2)。群落 1 属常绿阔叶林,共 22 科 26 属 26 种植物,乔木层含 13 种,优势种为毛竹、油茶和马尾松(*Pinus massoniana*);群落 2 属常绿针阔混交林,共 19 科 28 属 28 种植物,乔木层含 12 种,优势种为马尾松、侧柏和女贞(*Ligustrum lucidum*);群落 3 属常绿落叶阔叶林混交林,共 12 科 17 属 18 种植物,乔木层含 12 种,优势种为甜橙、黄连木和小叶栎;群落 4 属落叶阔叶林,共 15 科 15 属 15 种植物,乔木层含 7 种,优势种为枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、黄连木和楝(*Melia azedarach*);群落 5 属常绿落叶阔叶林混交林,共 12 科 14 属 14 种植物,乔木层含 12 种,优势种为毛竹、青冈(*Q. glauca*)和朴树(*Celtis sinensis*);群落 6 属常绿阔叶林,共 16 科 16 属 17 种植物,乔木层 12 种,优势种为毛竹、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)和粗糠柴(*Mallotus philippensis*)。群落中仅有合欢盆距兰一种附生兰科植物,且只在乔木层分布。群落间植物种类差异大,群落 1 灌木层物种最丰富,群落 2 草本层物种最丰富。

表 2 合欢盆距兰种群所处群落物种组成

Table 2 Species composition in communities of *G. rantabunensis*

群落 Community	乔木层 Arbor layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
群落 1 Community 1	毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	豆腐柴 <i>Premna microphylla</i>	常春藤 <i>Hedera nepalensis</i> var. <i>sinensis</i>
	油茶 <i>Camellia oleifera</i>	杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	地锦 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>
	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	胡颓子 <i>Elaeagnus pungens</i>	金兰 <i>Cephalanthera falcata</i>
	福建青冈 <i>Quercus chungii</i>	光叶海桐 <i>Pittosporum glabratum</i>	忍冬 <i>Lonicera japonica</i>
	栗 <i>Castanea mollissima</i>	阔叶十大功劳 <i>Mahonia bealei</i>	山姜 <i>Alpinia japonica</i>
	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	山葡萄 <i>Vitis amurensis</i>
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	山檀 <i>Lindera reflexa</i>	
	刺楸 <i>Kalopanax septemlobus</i>		
	毛八角枫 <i>Alangium kurzii</i>		
	四照花 <i>Cornus kousa</i> subsp. <i>chinensis</i>		
	华南桦 <i>Betula austrosinensis</i>		
	化香树 <i>Platycarya strobilacea</i>		
	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>		
群落 2 Community 2	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	白背叶 <i>Mallotus apelta</i>	苍耳 <i>Xanthium strumarium</i>
	侧柏 <i>Platykladus orientalis</i>	冬青 <i>Ilex chinensis</i>	菖蒲 <i>Acorus calamus</i>
	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	苦枥木 <i>Fraxinus insularis</i>	合耳菊属一种 <i>Synotis</i> sp.
	乌桕 <i>Triadica sebifera</i>	六月雪 <i>Serissa japonica</i>	狼尾草 <i>Pennisetum alopecuroides</i>
	川桂 <i>Cinnamomum wilsonii</i>		芦苇 <i>Phragmites australis</i>
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>		牛膝 <i>Achyranthes bidentata</i>
	白菊木 <i>Leucomeris decora</i>		鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>
	花椒 <i>Zanthoxylum bungeanum</i>		商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>
	枇杷 <i>Eriobotrya japonica</i>		乌莓 <i>Cayratia japonica</i>
	柚 <i>Citrus maxima</i>		野菊 <i>Chrysanthemum indicum</i>
	榆 <i>Ulmus pumila</i>		野芋 <i>Colocasia antiquorum</i>
	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>		紫苏 <i>Perilla frutescens</i>
群落 3 Community 3	甜橙 <i>Citrus sinensis</i>		半蒴苣苔 <i>Hemiboea subcapitata</i>
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>		地锦 <i>Parthenocissus tricuspidata</i>
	小叶栎 <i>Quercus chenii</i>		风龙 <i>Sinomenium acutum</i>
	青冈 <i>Quercus glauca</i>		龙葵 <i>Solanum nigrum</i>
	青檀 <i>Pteroceltis tatarinowii</i>		商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>
	朴树 <i>Celtis sinensis</i>		乌莓 <i>Cayratia japonica</i>
	榆 <i>Ulmus pumila</i>		

续表

群落 Community	乔木层 Arbor layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>		
	梓叶槭 <i>Acer amplum</i> subsp. <i>catalpifolium</i>		
	大叶臭花椒 <i>Zanthoxylum myriacanthum</i>		
	小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>		
	槐 <i>Styphnolobium japonicum</i>		
群落 4 Community 4	枫杨 <i>Pterocarya stenoptera</i>	苎麻 <i>Boehmeria nivea</i>	龙葵 <i>Solanum nigrum</i>
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	醉鱼草 <i>Buddleja lindleyana</i>	商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>
	楝 <i>Melia azedarach</i>		香花崖豆藤 <i>Millettia dielsiana</i>
	黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i>		乌莓莓 <i>Cayratia japonica</i>
	青冈 <i>Quercus glauca</i>		威灵仙 <i>Clematis chinensis</i>
	水竹 <i>Phyllostachys heteroclada</i>		蜘蛛抱蛋 <i>Aspidistra elatior</i>
	棕榈 <i>Trachycarpus fortunei</i>		
群落 5 Community 5	毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	藤黄檀 <i>Dalbergia hancei</i>
	青冈 <i>Quercus glauca</i>		
	朴树 <i>Celtis sinensis</i>		
	猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i>		
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>		
	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>		
	四照花 <i>Cornus kousa</i> subsp. <i>chinensis</i>		
	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>		
	栎属一种 <i>Quercus</i> sp.		
	小叶女贞 <i>Ligustrum quihoui</i>		
	湖南山核桃 <i>Carya hunanensis</i>		
	油桐 <i>Vernicia fordii</i>		
群落 6 Community 6	毛竹 <i>Phyllostachys edulis</i>	茶 <i>Camellia sinensis</i>	商陆 <i>Phytolacca acinosa</i>
	杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>	刺五加 <i>Eleutherococcus senticosus</i>	沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i>
	粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	醉鱼草 <i>Buddleja lindleyana</i>	
	黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>		
	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>		
	枫香树 <i>Liquidambar formosana</i>		
	榉树 <i>Zelkova serrata</i>		
	刨花润楠 <i>Machilus pauhoi</i>		
	樟 <i>Camphora officinarum</i>		
	梧桐 <i>Firmiana simplex</i>		
	八角枫 <i>Alangium chinense</i>		
	柘 <i>Maclura tricuspidata</i>		

乔木层物种按重要值排序

2.3.2 群落物种组成异同

在新宁县 4 个合欢盆距兰所处群落中,葡萄科 (Vitaceae) 和漆树科 (Anacardiaceae) 是共有科,黄连木属 (*Pistacia*) 和黄连木分别是共有属和共有种,群落间相似度很低 (表 2、图 5)。会同县 2 个合欢盆距兰所处群落中,包括 8 个共有科:大戟科 (Euphorbiaceae)、杜英科 (Elaeocarpaceae)、禾本科 (Poaceae)、木樨科 (Oleaceae)、漆树科 (Anacardiaceae)、山茱萸科 (Cornaceae)、蕈树科 (Altingiaceae) 和樟科 (Lauraceae); 5 个共有属:野桐属 (*Mallotus*)、刚竹属 (*Phyllostachys*)、女贞属 (*Ligustrum*)、黄连木属 (*Pistacia*) 和枫香树属 (*Liquidambar*); 4 个共有种:粗糠柴、毛竹、黄连木和枫香树 (*L. formosana*) (表 2、图 5)。

调查结果显示,新宁县与会同县合欢盆距兰所处群落物种组成具有一定的相似性。两地群落间共有

16 个共有科:禾本科、胡桃科(Juglandaceae)、壳斗科(Fagaceae)、漆树科、山茶科(Theaceae)、山茱萸科、五加科(Araliaceae)、蕈树科、樟科、大戟科、木樨科、商陆科(Phytolaccaceae)、榆科(Ulmaceae)、豆科(Fabaceae)、天门冬科(Asparagaceae)、玄参科(Scrophulariaceae);13 个共有属:刚竹属、黄连木属、山茶属(*Camellia*)、八角枫属(*Alangium*)、枫香树属、山胡椒属(*Lindera*)、野桐属、女贞属、商陆属(*Phytolacca*)、黄檀属(*Dalbergia*)、朴属(*Celtis*)、栎属(*Quercus*)和醉鱼草属(*Buddleja*);10 个共有种:毛竹、黄连木、四照花(*Cornus kousa* subsp. *chinensis*)、枫香树、女贞、商陆(*Phytolacca acinosa*)、青冈、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)、朴树和醉鱼草(*Buddleja lindleyana*)(表 2、图 5)。

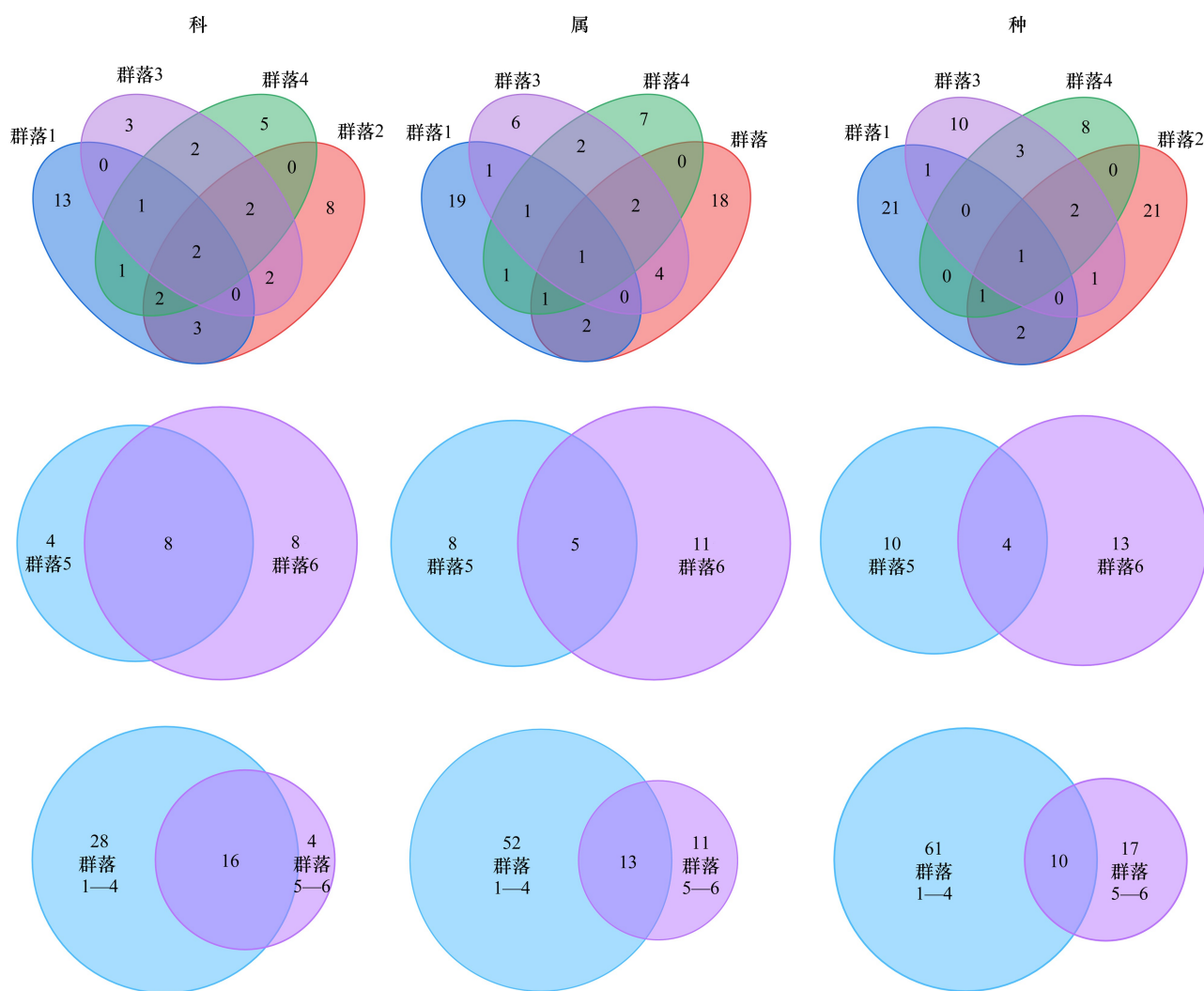


图 5 不同群落 在科、属和种水平上物种组成的比较

Fig.5 Comparison of species composition across different communities at family, genus, and species levels

3 讨论

3.1 合欢盆距兰的种群现状和生境特征

研究区域内共发现 6 个合欢盆距兰种群,附生在 13 棵宿主上。各种群的生境破碎化严重,分布区域狭窄,实际占有面积小。群落 2 中宿主已死亡,崑山种群 1、西冲村种群 2 和向阳村种群 5 存在因枝条或树皮掉落导致的个体数量减少,表明合欢盆距兰的部分生境开始退化。现存合欢盆距兰个体约 700 株,最大的种群约 200 株,最小种群仅 1 株,种群间个体数量差异显著(表 1)。综上所述,参照极小种群野生植物特点和

IUCN 濒危物种红色名录标准^[43-44],合欢盆距兰目前仍属于极小种群野生植物,评估为濒危(EN, B1ab(i, iii, v))。

合欢盆距兰分布在低海拔的森林边缘,且受到中度或高度人为干扰。其分布地附近的密林(如群落 2A、2B 及 3A)人为干扰程度低,然而分布多棵宿主树,却无合欢盆距兰附生(表 3)。相较于密林,森林边缘有更强的光合有效辐射和风速(图 2)。推测合欢盆距兰对森林边缘生境中的独特环境因子存在偏好性,其狭窄、破碎化的分布格局及与高强度人为干扰生境的重叠,可能源于两方面因素的共同作用,一是该物种特定的生态需求使其更适应边缘环境,二是人为活动导致的生境破碎化限制了其潜在分布范围。

在中国分布的盆距兰属植物中,多数物种偏好生长在中高海拔地区^[32],但本研究中合欢盆距兰均分布于低海拔地区。高海拔森林受云层和水平降水的影响,易形成云雾林,相较于低海拔森林,温度更低、湿度更高、太阳辐射更少^[35]。本研究推测合欢盆距兰在低海拔地区偏好森林边缘和靠近溪流河谷生长,可能是因为这类生境能够缓解海拔差异引起的群落内小气候差异。在春夏季节,低海拔森林边缘的高风速可以有效缓解宿主枝条的高温胁迫,增加空气流通,避免由于持续降水导致的湿度过大;在干燥寒冷的秋冬季节,河谷溪流能够维持空气湿度^[20],同时较强的光照可以保证适宜的温度。

表 3 其他调查群落的物种组成分析结果

Table 3 Species composition of others investigated communities

群落 Community	乔木数量 No. of arbor species	群落特征 Community characteristics
群落 2A Community 2A	103	人为干扰程度较小,群落郁闭度较高的天然林。优势种为青冈、栎木 <i>Cornus macrophylla</i> 、细叶青冈 <i>Q. shennongii</i> 、化香树、灌木和草本较丰富。群落中有 1 棵胸径约 12 cm 的黄连木,1 棵胸径约 20 cm 的乌桕。
群落 2B Community 2B	39	人为干扰程度较小,群落郁闭度较高的天然林。优势种为青冈、朴树、栎木、黄檀、黄连木,青冈占所有乔木数量的 40%以上,灌木和草本较丰富。群落中有 3 棵胸径 16 cm 以上的黄连木。
群落 2C Community 2C	100	人为干扰程度较小,树种少。乔木主要为马尾松,有 60 棵左右,其他乔木为枫香树,白栎 <i>Q. fabri</i> 和油茶,马尾松、枫香树、白栎的胸径均在 20 cm 以上,灌木较丰富,几乎无草本。
群落 2D Community 2D	60	人为干扰程度大,优势种为马尾松和人工种植的栗、甜橙,几乎无灌木和草本。
群落 3A Community 3A	81	人为干扰程度较小,群落郁闭度较高的天然林。优势种为白栎、栓皮栎 <i>Q. variabilis</i> 、马尾松、青冈,灌木和草本较丰富。群落中有 1 棵胸径 20 cm 左右的黄连木。

群落 2A、2B、2C 和 2D 为群落 2 附近群落,群落 3A 和群落 4A 为群落 3 和 4 附近群落

合欢盆距兰的生境形成和维持与人类活动有关。例如,群落 3 和群落 4 的黄连木被人为保留作为风水林(附近有庙宇),群落 5 和 6 的宿主在道路修缮时被保留,为合欢盆距兰创造了适宜且相对稳定的宿主环境。然而,过度的人为干扰及其带来的生境破碎化对附生兰科植物的生存和繁衍会产生威胁^[9, 12]。合欢盆距兰所在群落仍在持续遭受房屋和道路建造以及农田管理等人为干扰,且多个种群的生存依赖于群落中的孤立宿主,宿主死亡将会直接引起合欢盆距兰逐渐随树皮和枝条脱落,甚至直接导致种群灭亡。而群落中其他植物死亡会显著改变群落结构,影响宿主的微环境^[16],可能会间接导致合欢盆距兰无法适应生境变化而死亡。此外,人类活动可能会干扰传粉者行为,降低兰科植物的结实率^[7-8]。调查发现多个种群的自然结实数量极少,过度的人为干扰很有可能降低了传粉成功率。

3.2 合欢盆距兰的附生特性

宿主是附生植物的栖息地单元^[45],一棵宿主即可视为一个生境。宿主树皮的理化性质、微生物的分布以及宿主上的环境因子都会影响附生兰科植物的分布^[18, 47-48]。本研究发现,黄连木是合欢盆距兰的主要宿主。黄连木适生范围广、适应性强,尤其在中国东部的亚热带地区广泛分布^[49],且同性别的个体常呈现聚集分布^[50]。不仅如此,大量的黄连木古树被当作风水林被保存下来,数量远超其他宿主树种^[40]。因此,合欢盆距兰附生特性与宿主种类之间的相关关系需要深入研究。

森林中光强、温度和风速随高度的增加而升高,空气湿度则随之下降^[51-52],形成树冠外侧高光强和风速、

低湿度,而内部则阴凉和潮湿的特点^[53]。喜光耐旱的附生植物一般生长在外冠,而喜阴耐寒能力较差的物种倾向于分布在内冠^[54]。合欢盆距兰的附生高度与宿主树高和胸径存在良好的正相关关系,且仅附生在宿主冠层。具体而言,该物种在常绿宿主福建青冈上倾向于附生在树冠中上部,而在落叶宿主乌桕和黄连木上偏好附生在树冠中下部。宿主枝叶的形态和数量显著影响树冠的透光率,更大、更多的叶片和枝条会减少到达位于冠层下部的光线^[55]。福建青冈密集的枝条可能导致树冠下部阴暗潮湿,不利于合欢盆距兰光合作用,同时容易促进有害微生物的增殖,间接威胁植株健康。此外,在季节变化时,常绿和落叶树种内冠的微生物境变化存在显著差异。例如,常绿树种 *Hyeronima alchorneoides* 内冠旱季的平均温度和光合有效辐射高于雨季,而落叶树种 *Lecythis ampla* 在雨季落叶时期达到峰值,并伴随更显著的温度波动^[55]。在秋冬季节,落叶树木的树冠上部因落叶直接暴露于强光、低温和大风等胁迫下,可能是导致合欢盆距兰较少生长在黄连木、小叶栎和乌桕树冠上部的重要原因。值得注意的是,合欢盆距兰在死亡侧柏的整个树冠都有分布,可能归因于侧柏细密无叶的枝条利于阳光穿透,同时能有效减弱风和雨雪胁迫^[56]。最后,合欢盆距兰偏好附生在枝条下方的特征可能与生长过程中受到阳光、重力、风力等因素的影响有关,仍需深入地观察和研究。但雨季树皮腐烂引发的植株脱落风险需持续监测以便及时采取拯救措施。总之,合欢盆距兰对光照、温度和风速等环境因子的特定需求形成了其在不同宿主上不同的分布式样,详细记录合欢盆距兰在不同季节、不同宿主的同一位置上的微环境特征,有利于深入阐述其独特的生存策略。

研究发现常绿宿主上附生的合欢盆距兰数量多于落叶宿主上,这可能是由于常绿宿主在季节变化时能够提供更稳定的微环境和资源供给^[55]。此外,在同一群落中的同种宿主间,合欢盆距兰附生数量与宿主大小之间存在正相关趋势,表明随着宿主的生长能够为更多的合欢盆距兰提供适宜栖息地。

3.3 合欢盆距兰所处群落的特征

6个群落间仅有黄连木1个共有种,群落间的物种组成相似度极低,表明合欢盆距兰对特定物种组合无显著依赖性。尽管对单一附生兰科植物所处群落间物种组成特征的研究较少,但已有证据显示各群落间的物种组成相似度普遍较低^[19, 20, 26]。因此,推测除了宿主外,群落中其他物种对附生兰科植物偏好生境的形成影响相对有限。进一步分析研究发现,会同县内的两个群落之间有4个共有种,而且这两个群落的物种中有10个与新宁县四个群落的物种相同,表明合欢盆距兰所处群落存在局域性的物种相似性。这种相似性可能与新宁县和会同县合欢盆距兰所处群落中相似的气候、土壤和小地形有关^[38-41]。群落中物种组成的数据对合欢盆距兰资源调查、迁地保护及回归工作具有重要的参考价值。

合欢盆距兰所处的群落类型以常绿阔叶林和常绿落叶阔叶林混交林为主,群落中常包含大量常绿树种。在面对季节和气候变化时,大量常绿树种可维持群落结构和功能的稳定,保障小气候连续性^[57]。群落优势种对群落结构和外貌具有决定性作用^[58],进而通过调控群落中附生兰科植物宿主上的微环境,影响附生兰科植物的种群规模^[16, 56]。合欢盆距兰宿主的重要值均位于所有乔木层前五位,是关键建群种。表明这些宿主在光、水和养分竞争中具有优势,不易被其他物种迅速取代,能够为合欢盆距兰提供稳定的栖息地。值得注意的是,毛竹、甜橙、油茶是多个合欢盆距兰所处群落中的优势种。毛竹的繁衍和入侵能力极强,快速扩张会显著降低受侵群落中乔木和灌木层生物多样性^[59]。甜橙和油茶需要长期人为管理以维持产量,易导致群落物种组成改变和营养分配失衡。因此,应持续监测合欢盆距兰所处群落结构和组成的动态,保障合欢盆距兰的宿主和生境安全。

3.4 保育策略

中国大陆合欢盆距兰的分布范围狭窄且数量稀少,目前仅调查到6个种群,总数量约700株,其种群结构和规模高度依赖以黄连木为主的宿主。然而,大多数宿主在群落中孤立分布,一旦死亡或枝条断落,合欢盆距兰几乎没有机会转移到其他宿主存活。针对其特殊的种群动态变化规律,建议明确种群间遗传背景,采用异交授粉结合种子无菌萌发技术培育幼苗,以提升种群遗传多样性;开展人工移栽和回归,将种群维持在相对较大的规模,从而缓冲甚至抵消由于宿主原因造成的非正常死亡和基因型丧失。在进行移栽和回归时,选择气

候相近的临水森林边缘进行试点,首选黄连木作为宿主,使用遮阴网将合欢盆距兰植株绑缚在宿主干层的主干阴面或枝条下方,避免阳光直射。

合欢盆距兰种群均分布在受到频繁人为干扰的森林边缘,生境破碎化严重,需加强种群及生境的系统性监测及保护。建议制定并实施长期监测计划,追踪种群动态、生境演替趋势及宿主健康状况,以应对极端气候事件和病虫害风险,并及时采取保护措施。监测内容还应涵盖群落尺度和附生位置微生境尺度的光照、湿度、风速等环境参数,以明晰环境因子对合欢盆距兰的生长与繁殖的具体影响。同时,明确并保护其传粉昆虫,保障种群的天然繁殖。在此基础上,设立保护小区,维持现有的森林边缘,并适当补植黄连木等宿主,为合欢盆距兰种群的扩大提供栖息地。此外,需抑制毛竹等物种的入侵和扩散,避免其与合欢盆距兰的宿主争夺资源。

极小种群植物的存续与生态系统的完整性密切相关,传粉者不足、生境破碎化或退化都会影响种群的更新与繁衍能力^[43]。因此,保护极小种群物种不仅需要关注物种本身,还需保护其赖以生存的生态系统。国家公园以保持自然生态系统的完整性和原真性为主要目标,承载着保护和维持自然资源、生态环境、珍稀物种群落、自然景观、人文遗产等要素的自然演化过程的主要价值,为珍稀濒危物种的保护提供了关键平台^[60]。近年来,国家公园的管理体制和社区参与模式正在日益完善,通过智慧管理体系、绿色发展、宣传教育和合作交流等方式全面系统地助力生物多样性保护^[61-63]。合欢盆距兰在低海拔地区的适应性及其对人类活动的耐受性,使其成为国家公园保护与社区发展协同推进的理想对象。建议利用湖南南山国家公园的平台,开展种群的长期监测、生境恢复、人工繁育和迁地保护等科学研究,同时利用公众教育和宣传活动,鼓励栖息地周边居民参与保护工作,为合欢盆距兰的保育工作提供多重保障。

致谢: 崑山珍稀植物研究所刘叙爱和中国科学院植物研究所王国强在野外调查、物种鉴定等方面提供了支持和帮助。

参考文献(References):

- [1] Zhang G J, Hu Y, Huang M Z, Huang W C, Liu D K, Zhang D Y, Hu H H, Downing J L, Liu Z J, Ma H. Comprehensive phylogenetic analyses of Orchidaceae using nuclear genes and evolutionary insights into epiphytism. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2023, 65(5): 1204-1225.
- [2] Chase M W, Cameron K M, Freudenstein J V, Pridgeon A M, Salazar G, van den Berg C, Schuiteman A. An updated classification of Orchidaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2015, 177(2): 151-174.
- [3] 刘广福, 臧润国, 丁易, 王文毅, 李儒财, 陈少伟, 周照骊. 海南霸王岭不同森林类型附生兰科植物的多样性和分布. *植物生态学报*, 2010, 34(4): 396-408.
- [4] Schmidt G, Zotz G. Inherently slow growth in two Caribbean epiphytic species: a demographic approach. *Journal of Vegetation Science*, 2002, 13(4): 527-534.
- [5] 覃海宁, 杨永, 董仕勇, 何强, 贾渝, 赵莉娜, 于胜祥, 刘慧圆, 刘博, 严岳鸿, 向建英, 夏念和, 彭华, 李振宇, 张志翔, 何兴金, 尹林克, 林余霖, 刘全儒, 侯元同, 刘演, 刘启新, 曹伟, 李建强, 陈世龙, 金效华, 高天刚, 陈文俐, 马海英, 耿玉英, 金孝锋, 常朝阳, 蒋宏, 蔡蕾, 臧春鑫, 武建勇, 叶建飞, 赖阳均, 刘冰, 林秦文, 薛纳新. 中国高等植物受威胁物种名录. *生物多样性*, 2017, 25(7): 696-744.
- [6] 张玲玲, 刘子玥, 王瑞江. 广东兰科植物多样性保育现状. *生物多样性*, 2020, 28(7): 787-795.
- [7] Huang B Q, Sun Y N, Yu X H, Luo Y B, Hutchings M J, Tang S Y. Impact of proximity to a pathway on orchid pollination success in Huanglong National Park, South-West China. *Biological Conservation*, 2009, 142(4): 701-708.
- [8] de Sousa F G, dos Santos J S, Martello F, Diniz M F, Bergamini L L, Ribeiro M C, Collevatti R G, Silva D P. Natural habitat cover and fragmentation per se influence orchid-bee species richness in agricultural landscapes in the Brazilian Cerrado. *Apidologie*, 2022, 53(2): 20.
- [9] Ospina-Calderón N H, Tremblay R L, Torres A M, Flanagan N S. The effect of habitat transformation on a twig epiphytic orchid: Evidence from population dynamics. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2023, 11: 1135316.
- [10] 郭志华, 张旭东, 黄玲玲, 巨关升. 落叶阔叶树种蒙古栎(*Quercus mongolica*)对林缘不同光环境光能和水分的利用. *生态学报*, 2006, 26(4): 1047-1056.
- [11] 余海, 辛学兵, 裴顺祥, 吴迪, 吴莎, 法蕾, 马淑敏, 郭慧. 九龙山林缘地区空气负离子浓度变化特征及与气象因素关系. *生态科学*, 2018, 37(6): 191-198.

- [12] Adhikari Y P, Fischer A. Distribution pattern of the epiphytic orchid *Rhynchostylis retusa* under strong human influence in Kathmandu valley, Nepal. *Botanica Orientalis: Journal of Plant Science*, 2012, 8: 90-99.
- [13] Besi E E, Mustafa M, Yong C S Y, Go R. Habitat ecology, structure influence diversity, and host-species associations of wild orchids in undisturbed and disturbed forests in peninsular Malaysia. *Forests*, 2023, 14(3): 544.
- [14] Ren P, Didham R K, Murphy M V, Zeng D, Si X F, Ding P. Forest edges increase pollinator network robustness to extinction with declining area. *Nature Ecology & Evolution*, 2023, 7(3): 393-404.
- [15] Nieder J, Prosperí J, Michaloud G. Epiphytes and their contribution to canopy diversity. *Plant Ecology*, 2001, 153: 51-63.
- [16] Fardhani I, Torimaru T, Kisanuki H. Effects of tree density and the topography of the sites of host trees on epiphytic orchid communities on *Schima wallichii* in a forest in West Java, Indonesia. *Acta Oecologica*, 2021, 111: 103739.
- [17] Adhikari Y P, Fischer A, Fischer H S. Epiphytic orchids and their ecological niche under anthropogenic influence in central Himalayas, Nepal. *Journal of Mountain Science*, 2016, 13(5): 774-784.
- [18] Zhao D K, Mou Z M, Zhao E Q, Bai J M, Zhang X, Yuan Z H, Wang R B, Wang Q X, Jacquemyn H, Ning C. Phorophyte preference of an epiphytic orchid (*Dendrobium wangliangii*) is independent of orchid mycorrhizal fungi that promote seed germination. *Journal of Ecology*, 2024, 112(7): 1458-1472.
- [19] 谢孔平, 谷海燕, 李策宏, 杨楠. 峨眉槽舌兰种群现状及所附生群落特征研究. *四川林业科技*, 2023, 44(2): 130-136.
- [20] 魏普杰, 费永俊, 朱司甲, 黄承石, 毛国蓉, 李晶, 胡蝶. 湖北英山霍山石斛植物群落特征研究. *中药材*, 2019, 42(8): 1754-1760.
- [21] Hirata A, Kamijo T, Saito S. Host trait preferences and distribution of vascular epiphytes in a warm-temperate forest. *Plant Ecology*, 2009, 201(1): 247-254.
- [22] 张翠利, 张中扬, 宋希强, 武华周, 陈积衡, 李大程, 张哲. 不同生活史阶段华石斛在附生树宿主上的垂直分布格局. *分子植物育种*, 2023, 21(3): 1006-1014.
- [23] Tremblay R, Castro J V. Circular distribution of an epiphytic herb on trees in a subtropical rain forest. *Tropical Ecology*, 2009, 50(2): 211-217.
- [24] Flores-Palacios A, García-Franco J G. The relationship between tree size and epiphyte species richness: testing four different hypotheses. *Journal of Biogeography*, 2006, 33(2): 323-330.
- [25] Fardhani I, Kisanuki H. Epiphytic orchid diversity in *Schima wallichii* trees in a forest region of Mt. Sanggara, West Java, Indonesia. *Acta Horticulturae*, 2019(1262): 67-74.
- [26] 黄歆怡, 陆祖正, 宾振钧, 甘春林, 覃茜, 丁丽琼. 极小种群植物洛氏蝴蝶兰所处群落结构特征. *热带作物学报*, 2020, 41(7): 1469-1476.
- [27] Rasmussen H N, Rasmussen F N. The epiphytic habitat on a living host: reflections on the orchid - tree relationship. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2018, 186(4): 456-472.
- [28] Zhang J Y, Cheng Y H, Liao M, Jin S L, Lin H Q, Yang P Y, He H, Xu B. *Gastrochilus balangshanensis* (Orchidaceae, Aeridinae), a new subalpine epiphytic orchid from the Mountains of Southwest China. *PhytoKeys*, 2024, 247: 123-135.
- [29] Li Y, Jin W T, Zhang L G, Zhou P, Luo Y, Zhu Z W, Xiang X G. Biogeography and diversification of the tropical and subtropical Asian genus *Gastrochilus* (Orchidaceae, Aeridinae). *Diversity*, 2022, 14(5): 396.
- [30] Rao W H, Liu Z J, Zhang G Q, Chen X H, Huang J, Chen G Z, Chen L J. A new epiphytic species of *Gastrochilus* Orchidaceae: Epidendroideae from Yunnan, China. *Phytotaxa*, 2019, 413(4): 296-300.
- [31] Li J W, Ya J D, Ye D P, Liu C, Liu Q, Pan R, He Z X, Pan B, Cai J, Lin D L, Jin X H. Taxonomy notes on Vandeae (Orchidaceae) from China: five new species and two new records. *Plant Diversity*, 2021, 43(5): 379-389.
- [32] 吉占和, 陈心启, 罗毅波, 朱光华. 盆距兰属// 吉占和. *中国植物志* (第19卷). 北京: 科学出版社, 1999: 399-420.
- [33] 夏葳怡. 崑山: 合欢盆距兰首次被发现自然繁衍结果. *湖南日报*, 2024-05-11 [2024-12-31]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1798747518647341123&wfr=spider&for=pc>.
- [34] 王昊昊, 王天宏. 研究团队在湖南发现两种罕见植物. *科教新报*, 2023-4-12(10) [2024-12-31]. https://epaper.voc.com.cn/kjxb/html/2023-04/12/node_95.htm.
- [35] Bock K D, Jacquemyn H, Ospina-Calderón N H, Flanagan N S, Ventre-Lespiauqcq A. Variation in root functional traits of Neotropical epiphytic and terrestrial orchids along an elevational gradient. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2025, 207(2): 103-114.
- [36] 全晓文, 黄康有, 水坤春, 李宏卫, 谢德豪, 左锦堂, 岑彩凤, 郑卓. 华南亚热带中部山地垂直植被带表土孢粉散布规律与气候相关性. *热带地理*, 2022, 42(10): 1597-1608.
- [37] Martin R A, da Silva C R B, Moore M P, Diamond S E. When will a changing climate outpace adaptive evolution? *WIREs Climate Change*, 2023, 14(6): e852.
- [38] 王业社, 陈立军, 杨贤均, 段林东. 湖南新宁野生地被植物资源的调查与分析. *草地学报*, 2015, 23(5): 990-996.

- [39] 罗仲春, 罗毅波. 新宁植物. 北京: 中国林业出版社, 2008.
- [40] 陶德树. 会同县古树群落特色分析与开发利用等级划分探索. 热带林业, 2023, 51(2): 70-75.
- [41] 吕中诚. 湖南会同杉木林不同生长阶段养分迁移与利用研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2021.
- [42] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
- [43] 孙卫邦, 刘德团, 张品. 极小种群野生植物保护研究进展与未来工作的思考. 广西植物, 2021, 41(10): 1605-1617.
- [44] IUCN. Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 16, (2024-03) [2024-11-18]. <https://www.iucnredlist.org/resources/redlistguidelines>.
- [45] Southwood T R E, Kennedy C E J. Trees as islands. *Oikos*, 1983, 41(3): 359.
- [46] Hernández-Pérez E, Solano E, Ríos-Gómez R. Host affinity and vertical distribution of epiphytic orchids in a montane cloud forest in southern Mexico. *Botanical Sciences*, 2018, 96(2): 200-217.
- [47] McCormick M K, Jacquemyn H. What constrains the distribution of orchid populations? *New Phytologist*, 2014, 202(2): 392-400.
- [48] McCormick M K, Whigham D F, Canchani-Viruet A. Mycorrhizal fungi affect orchid distribution and population dynamics. *New Phytologist*, 2018, 219(4): 1207-1215.
- [49] 王祎琛, 毛俊俨, 陈星京, 张忠强, 杨秀云. 应用最大熵模型预测黄连木在中国的潜在分布. 东北林业大学学报, 2021, 49(7): 61-65.
- [50] 杜乐山, 杨洪晓, 郭晓蕾, 董大颖, 关文彬. 黄连木群落种间联结指数—等级格局模型研究. 北京林业大学学报, 2013, 35(5): 37-45.
- [51] 范晓阳, 刘文耀, 宋亮, 陈泉, 袁国迪. 哀牢山湿性常绿阔叶林地生、树干及树枝附着苔藓生活型组成及其水分特性. 广西植物, 2019, 39(5): 668-680.
- [52] Song L, Zhang Y J, Chen X, Li S, Lu H Z, Wu C S, Tan Z H, Liu W Y, Shi X M. Water relations and gas exchange of fan bryophytes and their adaptations to microhabitats in an Asian subtropical montane cloud forest. *Journal of Plant Research*, 2015, 128(4): 573-584.
- [53] Spicer M E, Woods C L. A case for studying biotic interactions in epiphyte ecology and evolution. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2022, 54: 125658.
- [54] Pittendrigh C S. The bromeliad-*Anopheles*-malaria complex in Trinidad; the bromeliad flora. *Evolution; International Journal of Organic Evolution*, 1948, 2(1): 58-89.
- [55] Cardelús C L, Chazdon R L. Inner-crown microenvironments of two emergent tree species in a lowland wet forest. *Biotropica*, 2005, 37(2): 238-244.
- [56] Tremblay R L. Ecological correlates and short-term effects of relocation of a rare epiphytic orchid after Hurricane Georges. *Endangered Species Research*, 2008, 5: 83-90.
- [57] Huang K, Xia J Y. High ecosystem stability of evergreen broadleaf forests under severe droughts. *Global Change Biology*, 2019, 25(10): 3494-3503.
- [58] 姜冬冬, 罗应华, 林建勇, 何巧萍, 覃林, 零雅茗. 广西十万大山山地常绿阔叶林优势种空间分布格局与关联性. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(1): 151-161.
- [59] 杨清培, 杨光耀, 宋庆妮, 施建敏, 欧阳明, 祁红艳, 方向民. 竹子扩张生态学研究: 过程、后效与机制. 植物生态学报, 2015, 39(1): 110-124.
- [60] 虞虎, 钟林生. 基于国际经验的我国国家公园遴选探讨. 生态学报, 2019, 39(4): 1309-1317.
- [61] 欧阳志云, 唐小平, 杜傲, 臧振华, 徐卫华. 科学建设国家公园: 进展、挑战与机遇. 国家公园(中英文), 2023, 1(2): 67-74.
- [62] 杨子江, 王虹影, 向帆, 张雪. 原住民社会融合视角下的国家公园社区可持续发展策略——以香格里拉普达措国家公园社区为例. 规划师, 2024, 40(12): 130-138.
- [63] 张晶晶, 徐基良. 中国国家公园助力生物多样性保护路径研究进展. 科技导报, 2024, 42(18): 20-27.