

引用格式: 胡凯达, 郭瑞, 龙承鹏, 等. 莲花卷瓣兰的繁育系统与传粉生物学研究[J]. 浙江农林大学学报, 2025, 42(6): 1184–1191. HU Kaida, GUO Rui, LONG Chengpeng, *et al.* Research on the breeding system and pollination biology of *Bulbophyllum hirundinis*[J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2025, 42(6): 1184–1191.

莲花卷瓣兰的繁育系统与传粉生物学研究

胡凯达¹, 郭 瑞², 龙承鹏¹, 王义平¹

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江清凉峰国家级自然保护区管理局, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】对莲花卷瓣兰 *Bulbophyllum hirundinis* 的繁育系统和传粉生物学进行研究, 明确莲花卷瓣兰的传粉特性及濒危机制, 为莲花卷瓣兰的保护提供科学依据。【方法】通过野外调查, 对莲花卷瓣兰的开花物候、花部形态、繁育系统和传粉昆虫进行研究, 探讨了莲花卷瓣兰的繁育系统与传粉生物学特征, 量化其在自然范围内的繁殖成功率。【结果】①莲花卷瓣兰的盛花期为5月中旬, 单花花期约10 d, 群体花期约30 d, 具有集中开花的特性(60%的花在15 d内开放); ②莲花卷瓣兰为伞形花序, 花序由3~6朵黄花组成; ③莲花卷瓣兰自交不亲和, 人工异花授粉结实率为60.00%, 自然授粉结实率为21.23%; ④莲花卷瓣兰有6种访花昆虫, 明确斜缘新叶蝇 *Neophyllomyza leanderi* 是莲花卷瓣兰的有效传粉昆虫。【结论】明确了莲花卷瓣兰花期物候, 发现具有集中开花的特性, 斜缘新叶蝇是莲花卷瓣兰的有效传粉昆虫。图2表3参42

关键词: 莲花卷瓣兰; 繁育系统; 传粉生物学; 斜缘新叶蝇

中图分类号: S718.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2025)06-1184-08

Research on the breeding system and pollination biology of *Bulbophyllum hirundinis*

HU Kaida¹, GUO Rui², LONG Chengpeng¹, WANG Yiping¹

(1. College of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China;
2. Administration Bureau of Zhejiang Qingliangfeng National Nature Reserve, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] This study investigated the breeding system and pollination biology of *Bulbophyllum hirundinis* to clarify its pollination characteristics and endangerment mechanisms, thereby providing a scientific basis for its conservation. [Method] Field investigations were conducted to study the flowering phenology, floral morphology, breeding system, and pollinating insects of *B. hirundinis*. The breeding system and pollination biology characteristics were analyzed, and reproductive success within its natural range was quantified. [Result] (1) The full-bloom stage of *B. hirundinis* was in the middle of May. The flowering period of a single flower was approximately 10 days, and the flowering period of the population was about 30 days. It had the characteristic of concentrated blooming (60% of the flowers bloom within 15 days). (2) The inflorescence was umbellate, composed of 3–6 yellow flowers. (3) *B. hirundinis* was self-incompatible. The fruit-setting rate of artificial cross-pollination was 60.00%, and the natural fruit-setting rate was 21.22%. (4) 6 species of flower-visiting insects of *B. hirundinis* were observed, and it was confirmed that *Neophyllomyza leanderi* was the effective pollinator of *B. hirundinis*. [Conclusion] The flowering phenology of *B. hirundinis* was clarified for the first time, and the characteristic of concentrated blooming was discovered. It was confirmed that *N. leanderi* is the effective pollinator of *B. hirundinis*. [Ch, 2 fig. 3 tab. 42 ref.]

收稿日期: 2025-02-20; 修回日期: 2025-06-30

作者简介: 胡凯达 (ORCID: 0009-0004-3397-9494), 从事森林保护研究。E-mail: 643371989@qq.com。通信作者: 王义平 (ORCID: 0000-0003-2027-9398), 教授, 博士, 从事森林保护研究。E-mail: wyp@zafu.edu.cn

Key words: *Bulbophyllum hirundinis*; breeding system; pollination biology; *Neophyllomyza leanderi*

兰科 Orchidaceae 以其多样化的“欺骗性传粉系统”(包括食源性欺骗、性拟态、繁殖地拟态和信息素拟态等类型)而闻名^[1]。石豆兰属 *Bulbophyllum* 是兰科最具代表性的属之一,该属因其假鳞茎圆形而得名,目前全世界已知 2 000 多种,中国仅有 105 种^[2-4]。近年来,由于气候变化、生境破坏、人为采集等原因,石豆兰属植物的野生种群受到不同程度的破坏,面临着生存危机^[5]。莲花卷瓣兰 *Bulbophyllum hirundinis* 是一种小型附生兰科植物,具有较高的药用价值与观赏价值^[6-7],主要分布于中国的浙江、安徽、广西、海南、云南、台湾等地^[8],通常生长在海拔 500~3 000 m 山地林的树干或岩石上^[9],被《世界自然保护联盟濒危物种红色名录》(IUCN)评估为“近危”(NT)物种^[10]。

目前,关于莲花卷瓣兰的研究集中在新分布地和潜在适生地等方面^[11-12]。有研究发现:气温是影响莲花卷瓣兰分布地的最主要因素,推测其适宜分布地在广东、海南等南部过渡带以南的地区^[13]。但关于莲花卷瓣兰的繁育系统与传粉生物学还鲜见报道。大多数兰科植物具有特定的传粉者^[14],这种特殊的传粉系统增加了兰科植物灭绝的风险^[15],这可能也是致莲花卷瓣兰濒危的原因之一。由于低海拔区域人类活动较为频繁,该物种与其他兰科植物一样受到生境丧失的威胁^[16]。长期种群监测数据显示:莲花卷瓣兰数量呈下降趋势,亟需采取保护措施。开展繁育系统与传粉生物学研究是实施有效保护的重要基础^[17]。这些研究不仅能揭示莲花卷瓣兰濒危机制,更能为制定科学的保护策略提供依据^[18-19],对种群的长期存续具有决定性意义。

鉴于此,本研究通过野外调查对莲花卷瓣兰的开花物候、花部形态、繁育系统和传粉昆虫进行研究,探讨了莲花卷瓣兰的繁育系统与传粉生物学特征,并量化其在自然范围内的繁殖成功率,以期为该物种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

研究区位于浙江省杭州市临安区清凉峰国家级自然保护区(30°04'3.42"N, 118°56'56.53"E, 海拔为 485 m),所处群落为山核桃 *Carya cathayensis* 混交林,本研究所选的莲花卷瓣兰位于该混交林下西北坡的岩石壁上,居群数量约 212 株。该区域为亚热带北缘,年均气温为 11.7~14.7 °C,年平均降水量为 1 862.0~2 332.0 mm。无霜期为 234.0 d^[20]。所选莲花卷瓣兰居群生长习性为附生,花序为伞形,单株结果蒴,喜温暖湿润、半阴环境。

1.2 研究方法

1.2.1 开花物候与花部形态观测 2023 和 2024 年的 5—6 月开花期,根据 DAFNI 等^[21]的方法,记录莲花卷瓣兰整个居群的初花期、盛花期和末花期。当 25% 的植物开始开花时记为居群的始花期,约 5 月中上旬;当 50% 的植物处于开花高峰时,记为居群的盛花期,约 5 月中下旬;当 95% 的植物完成开花时,记为居群的末花期,约 6 月上旬。为了评估花的寿命,从未授粉的花和补充授粉的花开始监测,直到枯萎。使用相机对 20 株植物进行了蜜汁分泌评估,并通过嗅闻花来确定花香。

从处于盛花期的花序中随机选取 15 个花序,每个花序随机选取 1 朵开放的花,用游标卡尺(精度为 0.01 cm)对花部进行测量,包括花萼、花瓣、唇瓣的长度及宽度,以及访花昆虫入口高度(药帽到唇瓣的距离)、入口宽度(唇瓣的宽度)和入口深度(唇瓣的长度)。

1.2.2 繁育系统特性研究 2023 和 2024 年的 5—6 月,在莲花卷瓣兰花开放前随机选择 20 个单株,每株平均 1 个花序,每株随机选取 4 朵花,用细尼龙网(间隙 0.5 mm×0.5 mm)进行套袋处理。当花完全开放时,在已套袋的 20 株中选取 5 株进行自花授粉后套袋(自花授粉),5 株异花授粉后套袋(异花授粉),5 株去雄不授粉后套袋(去雄套袋),5 株维持套袋不授粉(直接套袋),以自然状态为对照(自然授粉)。开花结束后对不同处理的坐果情况进行统计。

1.2.3 访花昆虫种类与频率观察 2023 和 2024 年的 5—6 月分别进行了访花昆虫观测。在晴天 8:00—17:00 随机选取花朵(10 个花序共 60 朵花)进行观测,共观测 90 h。由于花的体积较小,使用 LAOWA Mini FF II 85 mm F5.6 Macro 微距镜头搭配 SONY Alpha 6000 相机观察昆虫对花的访问频率,

使用三脚架固定相机进行拍摄,以减少观察者的气味和动作对访花昆虫的潜在干扰,并对访花昆虫的行为进行记录和拍照。同时,使用封口塑料袋捕获其他植株上的访花昆虫,经乙酸乙酯处理后用于物种鉴定,测量其体宽、体长、胸高数据以进行传粉昆虫评估。标本带回实验室后通过查询《浙江昆虫志》进行物种鉴定,然后存放于浙江农林大学林业与生物技术学院。

为了确认访花昆虫是否为传粉昆虫,每隔 30 min 检查被访问花的花粉团数量是否缺少。为评估夜间传粉者是否存在,同时选取 15 株植物个体的 76 朵花,每天在 18:00 记录每朵花的花粉团数量,并在次日 7:00 再次检查。

1.3 数据处理

利用 Excel 2016 进行数据处理与绘制表格,Photoshop 2021 进行图片制作^[22]。

2 结果与分析

2.1 开花物候与花部形态

物候监测表明:莲花卷瓣兰在 5 月上旬至 6 月中旬开花,花黄色带紫红色,不同年份之间有差异。伞形花序着生 3~6 朵花,方便了传粉者在不同花朵之间进行转移,平均每花序为 (5.3±1.5) 朵,平均单花花期约 10 d,平均花序花期约 12 d,群体花期约 30 d,多数花 (60% 左右) 在 15 d 内开放,具有集中开花特性,果实 7 月上旬成熟。

如表 1 所示:莲花卷瓣兰苞片披针形,长约 3 mm,中萼片卵形,长约 5 mm,中部宽约 3 mm,先端较短,边缘具流苏状缘毛;花瓣斜卵状三角形,长约 3 mm,中部宽约 2 mm,先端锐尖,边缘具流苏状的缘毛,具 3 条脉;唇瓣呈现肉质化特征,整体呈舌形,长约 2.5 mm,自中央区域向外延伸并呈显著下弯形态。其基端具凹陷沟槽,通过与蕊柱足末端的机械偶联,构成铰链式关节结构,赋予其可动性功能。在所观察的花中没有发现蜜腺。

2.2 繁育系统特性

如表 2 所示:不同授粉方式下结实率有明显的区别,自花授粉和直接套袋未授粉均未见结实,说明莲花卷瓣兰自交不亲和。异花授粉处理后套袋,结实率为 60.00%,说明莲花卷瓣兰异交能正常坐果。去雄处理后套袋,结实率为 0,说明莲花卷瓣兰不存在无融合生殖现象。自然状态下,共记录了 179 朵花,结实率为 21.23%。

2.3 传粉生物学

通过对 15 株植物个体的 76 朵花的花粉团数量统计发现:莲花卷瓣兰不存在夜间花粉移出现象,说明莲花卷瓣兰无夜间传粉者。对莲花卷瓣兰 2 a 的日间观测中,共观测到 6 种访花昆虫,分别为斜缘新叶蝇 *Neophyllomyza leanderi*、天目山短肛螋 *Baculum tianmushanense*、中华驼舞虻 *Hybos chinensis*、游举腹蚁 *Crematogaster vagula*、黑颜单突叶蝉 *Lodiana brevis* 和管蓟马科 *Phlaeothripidae* (仅有 1 种)。

其中天目山短肛螋和黑颜单突叶蝉为植食性昆虫,啃食莲花卷瓣兰的花瓣和叶片。中华驼舞虻是周围环境中活动较为频繁的肉食昆虫,访花频率极低,在整个访花过程中仅活动在花瓣与花梗上,同时未观察到其携带花粉,属于对莲花卷瓣兰不起传粉作用的天敌昆虫。游举腹蚁从花梗处爬至花序上,从侧面进入花朵吸取花蜜或露水,多见于未完全开放的花朵,访花频率较低。访花管蓟马昆虫常停留在花萼与花瓣上,未观察到其有转移花粉的行为。如表 3 所示:在日间观测中斜缘新叶蝇、天目山短肛螋、中华驼舞虻、游举腹蚁、管蓟马和黑颜单突叶蝉均为莲花卷瓣兰的访花昆虫,除管蓟马和斜缘新叶蝇外,

表 1 莲花卷瓣兰的花部特征

Table 1 Floral trait of <i>B. hirundinis</i>							
项目	花瓣 长/mm	花瓣 宽/mm	中萼片 长/mm	中萼片 宽/mm	唇瓣 长/mm	唇瓣 宽/mm	花葶 长/mm
平均值	3.04	2.11	5.14	2.37	2.37	1.51	82.50
标准误	1.61	0.97	2.11	0.66	0.66	0.37	51.12

说明:样本数为15个花序。

表 2 莲花卷瓣兰不同授粉方式的结实率

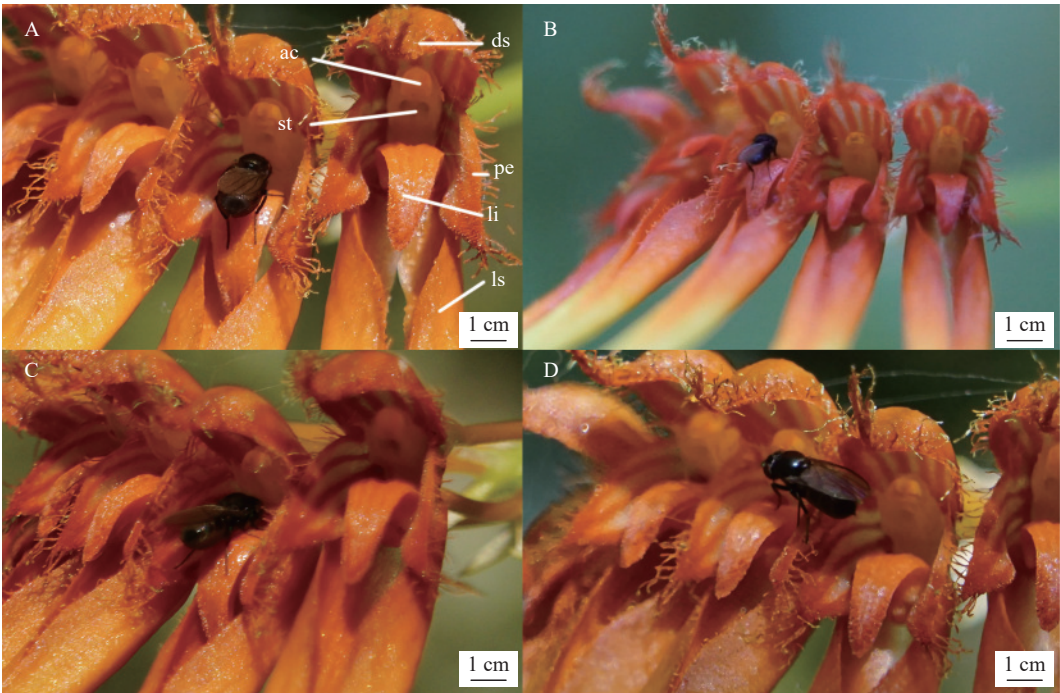
Table 2 Fruit setting rate in different pollination types of <i>B. hirundinis</i>			
处理	花朵数/朵	坐果数量/粒	结实率/%
自花授粉	20	0	0
异花授粉	20	12	60.00
去雄套袋	20	0	0
直接套袋	20	0	0
自然授粉	179	38	21.23

其余访花昆虫的体宽和胸高均大于传粉通道的入口宽度与入口高度，无法进入传粉通道，并无传粉作用。管蓟马大多发现于花瓣上，亦无传粉作用。由于被观察植物花朵较小，视频拍摄受风力影响较大，难以直接清晰地拍摄到访花昆虫携带的花粉。通过每 30 min 观察其花粉团是否减少，结合 30 min 内的访花昆虫视频记录进行对比，仅发现斜缘新叶蝇是有规律的访花者，且有接触合蕊柱并将花粉从花中移出的现象。

表 3 莲花卷瓣兰与不同访花昆虫的尺寸比较

Table 3 Comparative size of <i>B. hirundinis</i> flowers and various flower-visiting insects				
物种	个体数/个	入口宽度或体宽/mm	入口高度或胸高/mm	入口深度或体长/mm
莲花卷瓣兰 <i>Bulbophyllum hirundinis</i>	15	0.85±0.31	0.82±0.22	2.31±0.12
斜缘新叶蝇 <i>Neophyllomyza leanderi</i>	10	0.55±0.04	0.56±0.07	2.12±0.12
中华驼舞虻 <i>Hybos chinensis</i>	5	2.15±0.15	0.72±0.35	5.58±0.85
天目山短肛竹节虫 <i>Baculum tianmushanense</i>	5	2.11±1.51	1.85±0.51	32.1±1.35
游举腹蚊 <i>Crematogaster vagula</i>	5	1.21±0.12	1.16±0.15	3.12±0.35
黑颜单突叶蝉 <i>Lodiana brevis</i>	3	3.80±0.73	1.20±0.15	0.72±0.35
管蓟马Phlaeothripidae	5	0.15±0.10	0.12±0.12	0.72±0.35

在 90 h 的拍摄过程中，证明斜缘新叶蝇是莲花卷瓣兰的有效传粉者 (图 1)。当斜缘新叶蝇飞翔降落在唇瓣前端后，其会向唇瓣基部移动，达到一个临界平衡点后，斜缘新叶蝇的质量会导致有铰链结构的唇瓣向上翘起，随着斜缘新叶蝇的继续移动，开始重复做弹簧运动，推动斜缘新叶蝇的胸部与花蕊柱接触 (图 1)。斜缘新叶蝇移出花粉团后在同一朵花中停留一段时间，可能会接着访问同一花序中相邻的几朵花，也可能飞走。斜缘新叶蝇对莲花卷瓣兰的访问通常在气温为 25 ℃ 的晴朗条件下，9:00 气温开始上升，此时斜缘新叶蝇开始活动，访花行为集中在 9:00—15:00，随后访花次数非常少，其访花频率在气温较高的 11:00—12:00 达到最高峰，平均访花次数达 6 次·h⁻¹ (图 2)。本研究表明：斜缘新叶蝇平均单次访花为 (5.70±0.40) 朵 (n=40)，单花停留时间为 (7.41±0.45) s (n=145)，单次访问平均停留时间为



A. 莲花卷瓣兰花部特征，ac. 花药帽；ds. 背萼片；li. 唇瓣；Ls. 侧萼片；pe. 花瓣；st. 柱头。B. 斜缘新叶蝇降落至唇瓣休息。C. 斜缘新叶蝇触发了唇部的跷跷板机制，并被推进到柱头上，其胸部与花药盖接触。D. 斜缘新叶蝇访问同花序的其他花朵。

图 1 斜缘新叶蝇的传粉行为
Figure 1 Pollination behavior of *N. leanderi*

(41.12 ± 7.14) s ($n=40$)。传粉通道的入口宽度为 (0.85 ± 0.31) mm ($n=15$)，入口高度为 (0.82 ± 0.22) mm ($n=15$)，都略微高于斜缘新叶蝇的胸高和体宽，入口深度为 (2.31 ± 0.12) mm，高于斜缘新叶蝇的体长。此外，本研究未观察到斜缘新叶蝇在莲花卷瓣兰上的产卵行为，也未在任何花上发现斜缘新叶蝇卵，说明莲花卷瓣兰并非通过模拟斜缘新叶蝇的产卵地诱导其传粉。

3 讨论

3.1 莲花卷瓣的繁育系统

兰科植物大多数都是自交亲和的^[22-23]，但对于自交不亲和物种也有少量报道^[24]。本研究发现：莲花卷瓣兰自交不亲和，与石豆兰属芳香石豆兰 *Bulbophyllum ambrosia* 不同^[25]，但与同组的天贵卷瓣兰 *Bulbophyllum tianguui* 和二色卷瓣兰 *Bulbophyllum bicolor* 等相同^[18, 26]。石豆兰属植物，自然结实率普遍较低，如拟泰国卷瓣兰 *B. nipondhii* 自然结实率为 6.95%^[27]，莲花卷瓣兰自然状态下结实率较高；同时发现莲花卷瓣兰人工异花授粉植株的结实率与梳帽卷瓣兰 *B. andersonii* 相近，比自然授粉的植株明显更高，可能与花粉限制有关。因此，自花授粉不亲和可能是导致莲花卷瓣兰自然结实率低的主要原因，这对于无“欺骗性传粉系统”的兰花来说并不罕见^[28]。

3.2 莲花卷瓣兰适应传粉昆虫的花形态结构特征

在兰科植物中，花形较小的植物大多数是由蝇类帮助授粉的，但不同植物执行的策略不同。如黄花杓兰 *Cypripedium flavum* 会散发出臭味物质吸引蝇类传粉^[29]；热带亚洲兜兰属 *Paphiopedilum* 和火烧兰属 *Epipactis* 大多数物种的花都有类似蚜虫的斑点，可以吸引喜欢在蚜虫群中产卵的雌性食蚜蝇前来传粉^[30-31]。莲花卷瓣兰花较小，访花昆虫无法进行有效传粉。

石豆兰属植物具有弹性的唇瓣，被认为是适应虫媒传粉平行进化的结果^[32]：当昆虫停留在唇瓣上活动时，唇瓣可产生反弹力，将访花昆虫弹起送到合蕊柱上带走花粉或将花粉带到柱头腔内^[33]。本研究显示：莲花卷瓣兰活动的唇瓣在传粉过程中同样起到重要的作用，能够将斜缘新叶蝇多次弹起接触合蕊柱，完成带出或送入花粉的行为。同时，传粉通道与昆虫体型的匹配度也是提高传粉效率的关键因素，它可以限制许多非传粉的访花昆虫带出花粉。在对莲花卷瓣兰的长时间观测中，斜缘新叶蝇是唯一访问完一朵花后会连续访问同株其他花朵的访花昆虫，也只有它与莲花卷瓣兰传粉通道大小相近，能够进入传粉通道完成传粉。

3.3 莲花卷瓣兰的有效传粉昆虫

现有研究表明：部分兰科植物在进化过程中与传粉昆虫形成了完美的协同进化关系，有些甚至形成了一对一的专性传粉关系^[34]。而石豆兰属物种除少部分以蜜蜂为传粉媒介^[25]，大多数为蝇类传粉，且被认为具有典型的蝇类传粉特征^[35]，例如梳帽卷瓣兰、拟泰国卷瓣兰的传粉者分别为曲角杆蝇 *Gampsocera* sp.、蚤蝇 *Megaselia* sp.^[27, 36]。石豆兰属植物的花通常因含有甲基丁香酚 (methyl eugenol) 和树莓酮 (raspberry ketone) 2 种蝇类的引诱剂而散发出难闻的气味^[37]，也有些因为含有姜酮而散发出“水果气味”^[38]。这些气味一方面能帮助石豆兰属植物吸引到特定的传粉昆虫，如 *B. cheiri* 花内的甲基丁香酚能吸引杨桃实蝇 *Bactrocera carambolae*、木瓜实蝇 *B. papayae* 和番石榴实蝇 *B. umbrosa* 等蝇类成为其传粉昆虫^[39]；另一方面也能作为材料帮助传粉昆虫合成其他物质，如姜酮常被一种雄性果蝇采集后用于合成性信息素；这种独特的互惠关系让双方都能获得有效的生殖效益^[40]。莲花卷瓣兰上发现了蜘蛛和食虫虻的活动，而真叶蝇属 *Eupeodes* 成虫有典型的资源利用行为特征，其通过截获捕食者 (如蜘蛛目 Araneae、食虫虻科 Asilidae 等节肢动物) 已控制的猎物资源完成能量获取^[41]，这可能促进了斜缘新叶蝇的访花。斜

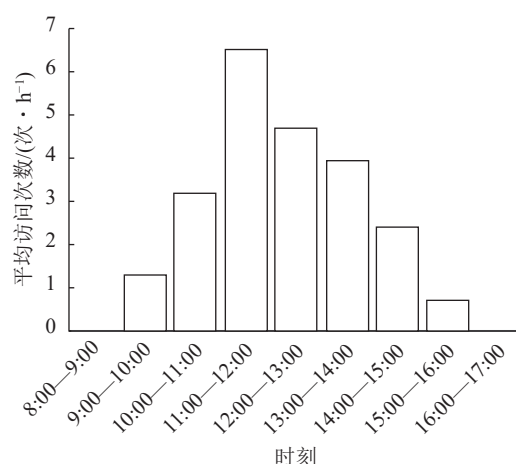


图2 斜缘新叶蝇对莲花卷瓣兰的平均访问次数
Figure 2 Mean number of visits of *N. leanderi* to *B. hirundinis*

缘新叶蝇可能和其他具有访花习性的叶蝇科 *Milichiidae* 成虫一样^[40], 被莲花卷瓣兰的纤毛和挥发性气味吸引到唇瓣上取食分泌物。此外, 石豆兰属植物的唇瓣基部通常有一个小的弹性铰链, 当访花昆虫在花上活动时促使其与花粉接触, 增加传粉的效率^[42]。

传粉昆虫对传粉的贡献取决于它们的数量和它们的行为。莲花卷瓣兰中萼片上的白色条纹可能对访花昆虫起到视觉信号的作用, 但仅当传粉者在访问过程中完成花粉附着与转移行为时, 方可将其界定为有效传粉者 (effective pollinator)。本研究观察到莲花卷瓣兰的访花昆虫 6 种, 但仅有斜缘新叶蝇为莲花卷瓣兰的有效传粉昆虫, 这在石豆兰属传粉生物学研究中属首次报道。

4 结论

莲花卷瓣兰为伞形花序, 单花花期约 10 d, 群体花期为 5 月上旬至 6 月中旬, 开放时无明显香味。莲花卷瓣兰的繁育系统是需要传粉者异交的交配系统, 自然结实率较低 (21.22%), 唯一的传粉者是斜缘新叶蝇。

5 参考文献

- [1] 张哲, 任明迅, 向文倩, 等. 东南亚兰科植物的物种多样性、生活习性及其传粉系统[J]. *广西植物*, 2021, **41**(10): 1683–1703.
ZHANG Zhe, REN Mingxun, XIANG Wenqian, *et al.* Species diversity, habits and pollination system of Orchidaceae in Southeast Asia [J]. *Guihaia*, 2021, **41**(10): 1683–1703.
- [2] NGUYEN V T, AVERYANOV L, DANG V S, *et al.* A new species, *Bulbophyllum mamillatum* and a new national record, *B. retusum* (Orchidaceae) in the flora of Vietnam [J]. *Taiwania*, 2022, **67**(2): 181–185.
- [3] 杨朔, 周庆, 任启飞, 等. 石豆兰属植物研究进展[J]. *农业与技术*, 2020, **40**(24): 8–12.
YANG Shuo, ZHOU Qing, REN Qifei, *et al.* Research progress of *Lycoris* [J]. *Agriculture and Technology*, 2020, **40**(24): 8–12.
- [4] 邹婉霞, 欧阳勤森, 卓书斌, 等. 石豆兰属植物国内外研究进展[J]. *热带农业科学*, 2024, **44**(7): 137–146.
ZOU Wanxia, OUYANG Qinsen, ZHUO Shubin, *et al.* Research progress on *Bulbophyllum* plants at home and abroad [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2024, **44**(7): 137–146.
- [5] 易绮斐, 邢福武, 黄向旭, 等. 我国石豆兰属药用植物资源及其保护[J]. *热带亚热带植物学报*, 2005, **13**(1): 65–69.
YI Qifei, XING Fuwu, HUANG Xiangxu, *et al.* Medicinal plants of *Bulbophyllum* species in China [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2005, **13**(1): 65–69.
- [6] 赵会然, 顾玲丽, 赵春婷, 等. 石豆兰属植物化学成分及药理活性研究进展[J]. *中国新药杂志*, 2015, **24**(22): 2579–2583, 2605.
ZHAO Huiran, GU Lingli, ZHAO Chunting, *et al.* Advances in studies of chemical constituents from plants of *Bulbophyllum* genus and their bioactivities [J]. *Chinese Journal of New Drugs*, 2015, **24**(22): 2579–2583, 2605.
- [7] 陈丽晖, 徐呈祥, 陈雄伟, 等. 鼎湖山野生兰科花卉资源及其观赏性研究[J]. *广东农业科学*, 2015, **42**(14): 54–59.
CHEN Lihui, XU Chengxiang, CHEN Xiongwei, *et al.* Studies on wild orchid flower resources and their appreciation of Dinghushan Mountain [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, **42**(14): 54–59.
- [8] 马丹丹, 王军峰, 叶喜阳. 浙江省兰科分布新记录[J]. *杭州师范大学学报 (自然科学版)*, 2018, **17**(1): 23–25.
MA Dandan, WANG Junfeng, YE Xiyang. New records of Orchidaceae in Zhejiang, China [J]. *Journal of Hangzhou Normal University (Natural Science Edition)*, 2018, **17**(1): 23–25.
- [9] 吴征镒. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
WU Zhengyi. *Flora of China* [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [10] 覃海宁, 赵莉娜. 中国高等植物濒危状况评估[J]. *生物多样性*, 2017, **25**(7): 689–695.
QIN Haining, ZHAO Lina. Evaluating the threat status of higher plants in China [J]. *Biodiversity Science*, 2017, **25**(7): 689–695.
- [11] 陈炳华, 苏享修, 李建民, 等. 福建省兰科植物新记录 9 种 (I)[J]. *福建师范大学学报 (自然科学版)*, 2014, **30**(5): 85–90.
CHEN Binghua, SU Xiangxiu, LI Jianmin, *et al.* Nine new records of Orchidaceae from Fujian Province (I) [J]. *Journal of*

- Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2014, **30**(5): 85–90.
- [12] 董安强, 李琳, 邢福武. 江西省兰科植物的3个新记录种[J]. *江西农业大学学报*, 2008, **30**(5): 949–950.
DONG Anqiang, LI Lin, XING Fuwu. Three taxa of Orchidaceae newly recorded from Jiangxi Province [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2008, **30**(5): 949–950.
- [13] 陈凯, 高湧, 林心昀, 等. 莲花卷瓣兰在浙江绍兴的新分布及其在中国的潜在适生地[J]. *丽水学院学报*, 2024, **46**(2): 10–19.
CHEN Kai, GAO Yong, LIN Xinyun, *et al.* The new distribution of *Bulbophyllum hirundinis* in Shaoxing, Zhejiang and its potential habitat in China [J]. *Journal of Lishui University*, 2024, **46**(2): 10–19.
- [14] TREMBLAY R L. Trends in the pollination ecology of the Orchidaceae: evolution and systematics [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1992, **70**(3): 642–650.
- [15] 张自斌. 广西雅长兰科植物国家级自然保护区兰科植物多样性及两种兰科植物传粉生态学研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
ZHANG Zibin. *Biodiversity of Orchids and Pollination Ecology on 2 Species in Guangxi Yachang Orchidaceae National Nature Reserve* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.
- [16] 张玉武, 杨红萍, 陈波, 等. 中国兰科植物研究进展概述[J]. *贵州科学*, 2009, **27**(4): 78–85.
ZHANG Yuwu, YANG Hongping, CHEN Bo, *et al.* Research progress Orchidaceae in China [J]. *Guizhou Science*, 2009, **27**(4): 78–85.
- [17] SIPES S D, TEPEDINO V J. Reproductive biology of the rare orchid, *Spiranthes diluvialis*: breeding system, pollination, and implications for conservation [J]. *Conservation Biology*, 1995, **9**(4): 929–938.
- [18] HU Aiqun, GALE S W, KUMAR P, *et al.* Preponderance of clonality triggers loss of sex in *Bulbophyllum bicolor*, an obligately outcrossing epiphytic orchid [J]. *Molecular Ecology*, 2017, **26**(13): 3358–3372.
- [19] 罗毅波, 贾建生, 王春玲. 初论中国兜兰属植物的保护策略及其潜在资源优势[J]. *生物多样性*, 2003, **11**(6): 491–498.
LUO Yibo, JIA Jiansheng, WANG Chunling. Conservation strategy and potential advantages of the Chinese *Paphiopedilum* [J]. *Chinese Biodiversity*, 2003, **11**(6): 491–498.
- [20] 宋朝枢. 浙江清凉峰自然保护区科学考察集[M]. 北京: 中国林业出版社, 2025.
SONG Chaoshu. *Scientific Survey of Zhejiang Qingliangfeng Nature Reserve* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2025.
- [21] DAFNI A, MAUÉS M M. A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity [J]. *Sexual Plant Reproduction*, 1998, **11**(3): 177–180.
- [22] 郑棚訥, 董春燕, 陈之光, 等. 多花指甲兰开花特性与繁育系统研究[J]. *浙江农林大学学报*, 2024, **41**(1): 124–131.
ZHENG Pengrui, DONG Chunyan, CHEN Zhiguang, *et al.* Flowering characteristics and breeding system of *Aerides rosea* [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2024, **41**(1): 124–131.
- [23] DRESSLER R L. *Phylogeny and Classification of the Orchid Family* [M]. Portland: Dioscorides Press, 1993.
- [24] 杨建伟, 李宗艳, 冯尧, 等. 束花石斛的繁育生物学特性[J]. *植物研究*, 2023, **43**(1): 150–160.
YANG Jianwei, LI Zongyan, FENG Yao, *et al.* Reproductive biological characteristics of *Dendrobium chrysanthum* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2023, **43**(1): 150–160.
- [25] 陈玲玲, 高江云. 芳香石豆兰的繁殖生态学[J]. *植物生态学报*, 2011, **35**(11): 1202–1208.
CHEN Lingling, GAO Jiangyun. Reproductive ecology of *Bulbophyllum ambrosia* (Orchidaceae) [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, **35**(11): 1202–1208.
- [26] 蒋强, 唐健民, 罗亚进, 等. 乐业雅长老屋基天坑天贵卷瓣兰传粉生物学研究[J]. *广西科学院学报*, 2020, **36**(1): 96–100.
JIANG Qiang, TANG Jianmin, LUO Yajin, *et al.* Preliminary study of pollination biology of *Bulbophyllum tianguui* in Leye Yachang Laowuji Tiankeng [J]. *Journal of Guangxi Academy of Sciences*, 2020, **36**(1): 96–100.
- [27] PAKUM W, KONGBANGKARD A, SRIMUANG K O, *et al.* Reproductive biology of a rare, fly-pollinated orchid, *Bulbophyllum nipondhii* Seidenf., in Thailand [J/OL]. *Flora*, 2019, **260**: 151467 [2025-02-01]. DOI: [10.1016/j.flora.2019.151467](https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151467).
- [28] TREMBLAY R L, ACKERMAN J D, ZIMMERMAN J K, *et al.* Variation in sexual reproduction in orchids and its evolutionary consequences: a spasmodic journey to diversification [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2005,

- 84(1): 1–54.
- [29] BORBA E L, SEMIR J. Pollinator specificity and convergence in fly-pollinated *Pleurothallis* (Orchidaceae) species: a multiple population approach [J]. *Annals of Botany*, 2001, **88**(1): 75–88.
- [30] PEMBERTON R W. Pollination of slipper orchids (Cypripedioideae): a review [J]. *Lankesteriana*, 2013, **13**: 65–73.
- [31] JIN Xiaohua, REN Zongxin, XU Songzhi, *et al.* The evolution of floral deception in *Epipactis veratrifolia* (Orchidaceae): from indirect defense to pollination[J/OL]. *BMC Plant Biology*, 2014, **14**: 63 [2025-02-01]. DOI: [10.1186/1471-2229-14-63](https://doi.org/10.1186/1471-2229-14-63).
- [32] MICHENEAU C, JOHNSON S D, FAY M F. Orchid pollination: from Darwin to the present day [J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2009, **161**(1): 1–19.
- [33] TAN K H, ONG P T, TAN L T. Morphology and movement of *Bulbophyllum hortorum* (Orchidaceae) flowers enable selection of optimal-sized Dacini fruit fly males as pollinators [J]. *Arthropod-Plant Interactions*, 2023, **17**(5): 647–660.
- [34] 罗毅波, 贾建生, 王春玲. 中国兰科植物保育的现状和展望[J]. *生物多样性*, 2003, **11**(1): 70–77.
LUO Yibo, JIA Jiansheng, WANG Chunling. A general review of the conservation status of Chinese orchids [J]. *Chinese Biodiversity*, 2003, **11**(1): 70–77.
- [35] ONG PT, TAN K H. Fly pollination in four Malaysian species of *Bulbophyllum* (section *Sestochilus*): *B. lasianthum*, *B. lobbii*, *B. subumbellatum* and *B. virescens* [J]. *Malesian Orchid Journal*, 2011, **8**: 103–110.
- [36] 何锦睿, 张雄, 罗银玲, 等. 梳帽卷瓣兰花部特征对蝇类传粉者的适应性[J]. *植物研究*, 2024, **44**(5): 681–691.
HE Jinrui, ZHANG Xiong, LUO Yinling, *et al.* Adaptability of floral characteristics to fly pollinators in *Bulbophyllum andersonii* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2024, **44**(5): 681–691.
- [37] NAKAHIRA M, ONO H, WEE S L, *et al.* Floral synomone diversification of *Bulbophyllum* sibling species (Orchidaceae) in attracting fruit fly pollinators [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2018, **81**: 86–95.
- [38] TAN Kenghong, NISHIDA R. Zingerone in the floral synomone of *Bulbophyllum baileyi* (Orchidaceae) attracts *Bactrocera* fruit flies during pollination [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2007, **35**(6): 334–341.
- [39] TAN Kenghong, NISHIDA R, TOONG Y C. Floral synomone of a wild orchid, *Bulbophyllum cheiri*, lures *Bactrocera* fruit flies for pollination [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2002, **28**(6): 1161–1172.
- [40] 徐荣臻, 申爽, 朱永强, 等. 叶蝇科昆虫生物学和地理分布分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, **45**(5): 92–99.
XU Rongzhen, SHEN Shuang, ZHU Yongqiang, *et al.* Biology and geographical distribution analysis of Milichiidae [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2023, **45**(5): 92–99.
- [41] SIVINSKI J, MARSHALL S, PETERSSON E. Kleptoparasitism and phoresy in the Diptera[J/OL]. *The Florida Entomologist*, 1999, **82**(2): 179 [2025-02-01]. DOI: [10.2307/3496570](https://doi.org/10.2307/3496570).
- [42] TEIXEIRA S D, BORBA E L, SEMIR J. Lip anatomy and its implications for the pollination mechanisms of *Bulbophyllum* species (Orchidaceae) [J]. *Annals of Botany*, 2004, **93**(5): 499–505.