

海南黎母山景区天蛾科昆虫多样性研究

夏梦娜^{1,2#}, 卢俊辉², 郑勇亮², 周维浩², 张宝琴^{1,2*}

(1. 海南国家公园研究院/海南国家公园保护与发展重点实验室, 海南海口 570203 中国; 2. 海南大学 热带农学院/农业农村学院/乡村振兴学院, 海南 儋州 571737 中国)

摘要: 目前对海南热带雨林国家公园关键生态单元——黎母山景区天蛾科昆虫多样性的研究仍缺乏定点、连续且标准化的监测, 其群落结构与时空动态特征尚不明确。为弥补这一不足, 本研究于 2023 年 10 月至 2024 年 9 月, 采用夜间灯诱法(19:00—06:00), 对黎母山景区天蛾科昆虫进行了系统监测。结果表明, 共记录到黎母山景区天蛾科昆虫 3 亚科 29 属 47 种。其中, 长喙天蛾亚科为优势亚科(24 种, 占 51.06%), 其次为目天蛾亚科(17 种, 占 36.17%)和天蛾亚科(6 种, 占 12.76%), 伪葡萄缺角天蛾(15.41%)、锯线拟缺角天蛾(10.53%)和中线天蛾(10.15%)为主要优势种, 且捕获个体以雄性为主。时间格局分析表明, 成虫飞行期主要集中在 3—8 月, 夜间趋光活动高峰出现在 21:00—次日 03:00, 该时段个体数占总数的 65.23%。区系成分以东洋界为主体, 与华中区和西南区的共有种比例较高, 反映出毗邻地理单元间的物种渗透及热带—亚热带区系过渡特征。本研究初步揭示了黎母山景区天蛾科昆虫的多样性组成及时空活动规律, 强调了该区域在生物多样性保护中的重要性, 为海南热带雨林国家公园的生物多样性监测与管理提供了基础数据支撑。

关键词: 海南热带雨林国家公园; 天蛾科; 黎母山; 物种多样性; 时空格局; 趋光节律

中图分类号: S41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054(2026)05-0834-09

夏梦娜, 卢俊辉, 郑勇亮, 等. 海南黎母山景区天蛾科昆虫多样性研究[J]. 热带生物学报(中英文),

2026, 17(5): 834–842. DOI: [10.15886/j.cnki.rdswwb.20250143](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdswwb.20250143) CSTR: [32425.14/j.cnki.rdswwb.20250143](https://cstr.cn/32425.14/j.cnki.rdswwb.20250143)

20250143



国家公园是保护生物多样性和自然栖息地的重要场所^[1-2]。黎母山位于海南岛中部, 是海南热带雨林国家公园的重要组成部分^[3-4]。该区域保存了完好的原始热带森林, 水热条件极为优越(年均温 23.1℃, 年降雨量 2 343.1 mm, 年均相对湿度 84%)^[5-6], 为丰富的生物多样性提供了理想的栖息地。黎母山景区作为海南热带雨林国家公园黎母山的一般控制区和“天窗”区域(周边为核心保护区), 其独特的生态环境和丰富的生物多样性使其成为生物多样性保护的重要区域, 也是开展昆虫学研究的理想场所, 具有极高的科学研究和保护价值。

在热带生态系统中, 天蛾科昆虫是食物链中的重要环节, 其群落结构可有效指示生态系统稳定性与演替状态^[7]。天蛾科(Sphingidae)隶属于鳞翅目(Lepidoptera)蚕蛾总科(Bombycoidea), 全球已知超过 1 700 种, 尤其在热带地区物种多样性最

高^[8]。其分类系统不断更新, 当前主流观点基于整合形态与分子证据, 支持将其划分为天蛾亚科(Sphinginae)、目天蛾亚科(Smerinthinae)、锯翅天蛾亚科(Langiinae)和长喙天蛾亚科(Macroglossinae) 4 个亚科^[9-11]。中国天蛾科资源丰富: 根据《中国动物志》记载, 中国共有 187 种, 其中海南有 75 种^[12]; 《海南森林昆虫》记载海南 30 属 82 种^[13]; 最新的《中国天蛾科图鉴》记录中国有 4 亚科 71 属 277 种, 其中分布海南的有 4 亚科 47 属 105 种^[14]; 王和旺等^[15]共记录黎母山自然保护区 3 亚科 22 属 39 种, 显示出极高的物种丰富度。该类群多数种类夜间活动, 部分为日行性^[14]。其幼虫虽多以农林植物为食, 但较少成灾, 多为偶发性害虫^[16]。更为重要的是, 天蛾科是昆虫与花朵形态协同进化的著名模型^[17-18], 同时作为高效的传粉者^[14, 19], 潜在的食用、饲料和观赏资源^[20-21], 具有重要的生

态与经济价值。

然而,现有研究(如王和旺等^[15])的调查范围为黎母山自然保护区,其采样时间(2023年2—8月)未能覆盖完整的年度周期,且方法描述中未明确具体灯诱地点与时长,在监测的系统性和精确性方面尚有提升空间。特别是对海南热带雨林国家公园范围内的关键生态单元——黎母山景区,区内天蛾科昆虫多样性仍缺乏基于定点、连续、标准化监测的深入评估。为此,本研究于2023年10月至2024年9月,在黎母山景区设立固定监测点,采用标准化灯诱方法开展为期一年的系统监测,旨在更全面地阐明该区域天蛾科的物种组成、时空分布格局及区系特征,弥补现有数据在时间和空间分辨率上的不足,从而为海南热带雨林国家公园的生物多样性长期监测与精准保护管理提供更扎实的科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法 研究自2023年10月至2024年9月进行监测,每月于残月和峨眉月期间,在黎母山景区(海南热带雨林国家公园“天窗”区)3个地点——七家坊管护站(19.1025° N, 109.4347° E)、学而山房(19.1020° N, 109.4415° E)、锦绣湖(19.1019° N, 109.4434° E)连续2 d开展灯诱活动(高压汞灯 500 W, E40 白光 220 V, 灯诱帐篷 145 cm × 145 cm × 205 cm)。每晚 19:00 开灯,分4个时间点(21:00、00:00、03:00 和 06:00)逐次检查并记录所诱集的天蛾科昆虫的物种、个体数量和性别(同一个体在其首次出现的时间点记录,后续时段不再重复记录)。每种最多采集2对标本。

1.2 样本处理

1.2.1 标本采集 雄虫标本制作成针插标本。获得的雌虫用于人工套卵,进行室内饲养观察(温度 26 °C, 湿度 80%),并记录生命周期。

1.2.2 种类鉴定 主要依据《中国动物志》^[12]《海南森林昆虫》^[13]《中国天蛾科图鉴》^[14]《中国蛾类图鉴 IV》^[22]《蛾类图册》^[23]《秦岭昆虫志》^[24]等资料对本标进行鉴定,同时利用昆虫爱好者社区(<https://www.inaturalist.org/home>)和网站(<https://tpittaway.tripod.com/china/china.htm>)进行物种辅助验证。鉴定完成后,将不同种类的蛾类分类保存。

1.3 相对多度 (Relative abundance, Ra) 计算公式: $Ra_i = \frac{N_i}{N} \times 100\%$, 其中 Ra_i 表示物种 i 的相对多度, N_i 代表物种 i 的个体数量, N 为所有物种个体总数。个体数占群落总数量的 10.00% 以上者为优势种, 1% ~ 10% 为常见种, 小于 1% 的为稀有种^[25]。

1.4 区系分析方法 根据动物地理区划^[26-28]对所采集的种类进行区系分析,以确定黎母山天蛾科昆虫的区系特征。

1.5 数据处理 本研究使用非参数检验中的 Kruskal-Wallis 方差分析比较不同时间点所采集蛾类的翅展与体长的形态参数差异,显著度设定 $P < 0.05$, 数据分析和绘图在 Microsoft Excel 2022 和 Origin 2024 中进行。

2 结果与分析

2.1 物种多样性

2.1.1 黎母山天蛾科物种名录及数量动态 通过系统调查和鉴定(表 1, 图 1), 共记录到天蛾科昆虫 3 亚科 29 属 47 种。其中长喙天蛾亚科(Macroglossinae)物种数最多(24 种, 占 51.06%), 目天蛾亚科(Smerinthinae)和天蛾亚科(Sphinginae)分别记录 17 种(占 36.17%)和 6 种(占 12.76%), 表明长喙天蛾亚科是黎母山景区天蛾科的绝对优势类群(图 1)。仅发现一种海南特有种, 即海南红鹰天蛾(*Rhodambulyx hainanensis*)。

通过计算相对多度并排序可知, 其分布呈现出典型的“少数物种主导、多数物种稀有”的群落格局(表 1, 图 2)。其中, 伪葡萄缺角天蛾(*Acosmeryx pseudonaga*)(15.41%)、锯线拟缺角天蛾(*Acosmeryxoides harterti*)(10.53%)和中线天蛾(*Elibia dolichus*)(10.15%)是群落的主要优势种($Ra \geq 10\%$), 三者个体数共占捕获总量的 35.09%。杧果天蛾(*Amphypterus panopua*)、霜天蛾(*Psilogramma discistriga*)、斜绿天蛾(*Pergesa acteus*)、宽缘白肩天蛾(*Rhagastis acuta*)等 22 种为常见种($1\% \leq Ra < 10\%$), 共占总数的 54.51%, 构成了群落物种多样性的主体; 而青背长喙天蛾(*Macroglossum bombylans*)、九节木长喙天蛾(*Macroglossum divergens*)等 22 种稀有种($Ra < 1\%$)虽然在物种数上占比最高(46.81%), 但其个体数量仅占 9.40%。这种结构是健康生态系统的

表 1 黎母山景区天蛾科优势种及代表性物种
Tab. 1 Dominant and representative species of Sphingidae insects in Limu Mountain scenic area

物种 Species	所属亚科 Subfamily	相对多度 Ra/%	备注 Note
优势种			
Dominant species			
伪葡萄缺角天蛾 <i>Acosmeryx pseudonaga</i>	长喙天蛾亚科 Macroglossinae	15.41	
锯线拟缺角天蛾 <i>Acosmeryxoides harterti</i>	长喙天蛾亚科 Macroglossinae	10.53	
中线天蛾 <i>Elibia dolichus</i>	长喙天蛾亚科 Macroglossinae	10.15	
常见种			
Common species			
栗六点天蛾 <i>Marumba sperchius</i>	目天蛾亚科 Smerinthinae	4.14	
中南斗斑天蛾 <i>Daphnusa sinocontinentalis</i>	目天蛾亚科 Smerinthinae	3.38	
裂斑鹰翅天蛾 <i>Ambulyx ochracea</i>	目天蛾亚科 Smerinthinae	2.44	
姬缺角天蛾 <i>Acosmeryx anceus</i>	长喙天蛾亚科 Macroglossinae	8.65	
伪黄褐缺角天蛾 <i>A. pseudomissa</i>	长喙天蛾亚科 Macroglossinae	5.08	
霜天蛾 <i>Psilogramma discistriga</i>	天蛾亚科 Sphinginae	1.13	
稀有/特色种 Rare & Characteristic species			
海南红鹰天蛾 <i>Rhodambulyx hainanensis</i>	目天蛾亚科 Smerinthinae	0.75	海南特有种
银斑天蛾 <i>Hayesiana triopus</i>	长喙天蛾亚科 Macroglossinae	0.19	日行性

注: 完整的47种物种名录详见附表1。

Note: The complete list of 47 species can be found in Annex 1.

典型特征之一, 表明黎母山景区为天蛾科昆虫提供了多样的生态位。该结果首次系统揭示了该区域天蛾科的群落结构特征。

2.1.2 物种数与个体数量动态 本研究中, 各个月份均成功诱集到天蛾(图 3), 且几乎全为雄性, 雌性极少, 雌雄比约为 1:10。8 月份物种数和个体数达到最大值, 分别为 24 种、132 头, 10—12 月种群数量逐渐下降, 1—4 月种群数量逐渐上升(2023 年 10 月至 2024 年 9 月)。

2.2 飞行期与上灯时间

2.2.1 飞行期 在为期 1 年的调查中, 发现天蛾

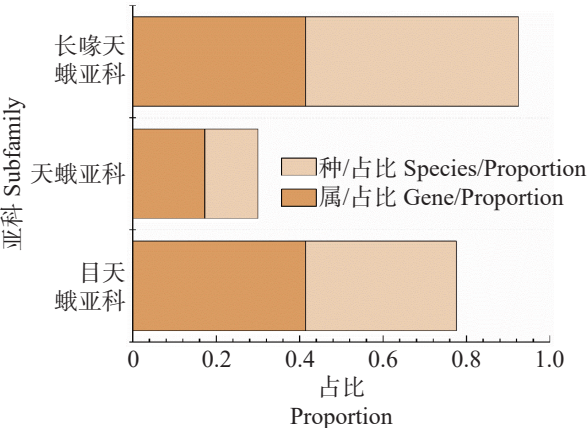


图 1 黎母山景区天蛾各亚科属/种占比
Fig. 1 Proportion of genera and species in each subfamily of Sphingidae in Limu Mountain scenic area

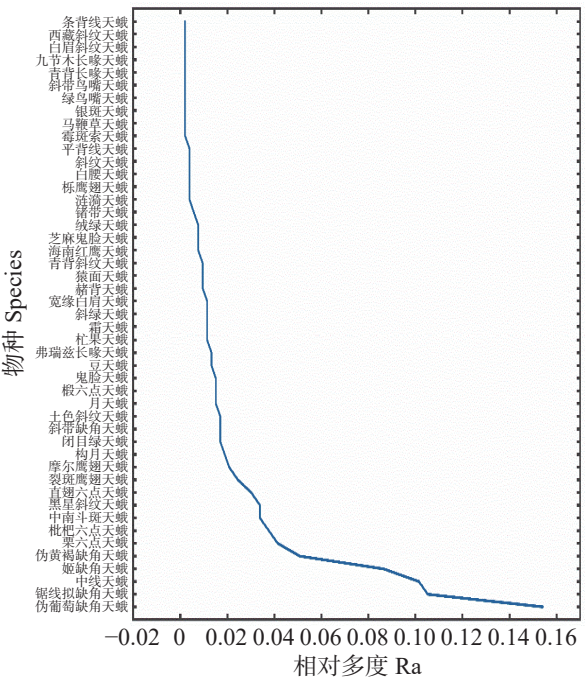


图 2 黎母山景区天蛾科昆虫物种相对多度分布
Fig. 2 Rank-abundance distribution of Sphingidae species in Limu Mountain scenic area

科昆虫的飞行期分布广泛, 涵盖了全年多个月份, 主要集中在 3—8 月(图 4)。霉斑索天蛾 (*Smerinthulus perversa*)、马鞭草天蛾 (*Meganoton nyctiphanes*)、绿鸟嘴天蛾 (*Eupanacra busiris*) 等 12 种因捕获的数量较少(1~2 只), 化性表现不明显; 初步推测海南红鹰天蛾 (*Rhodambulyx hainanensis*)、涟漪天蛾 (*Opistoclanis hawkeri*) 等 5 种为一化性昆虫; 闭目绿天蛾 (*Callambulyx rubricosa*)、鬼脸天蛾 (*Acherontia lachesis*)、猿面天蛾 (*Megacorma obliqua*) 等 14 种为二化性昆虫; 构月天蛾 (*Parum colligata*)、摩尔鹰翅天蛾

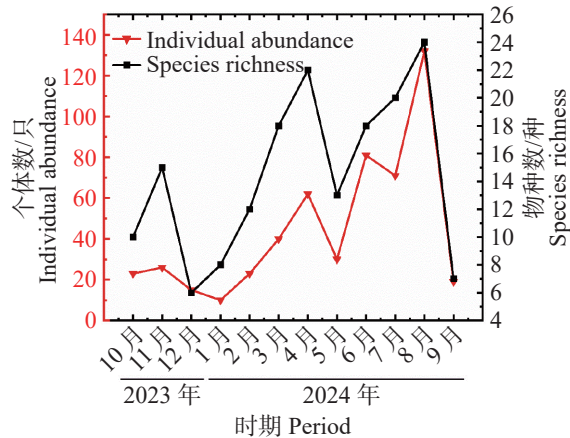


图3 黎母山景区天蛾科物种数与个体数的月动态变化
Fig. 3 Monthly dynamics of species richness and individual abundance of Sphingidae in Limu Mountain scenic area

(*Ambulyx moorei*)、绒绿天蛾(*Angonyx testacea*)等16种为多化性昆虫,其中中南斗斑天蛾(*Daphnusa sinocontinentalis*)、中线天蛾(*Elibia dolichus*)、伪葡萄缺角天蛾(*Acosmeryx pseudonaga*)几乎全年都可见,出现世代重叠现象。

2.2.2 上灯时间 对不同时间段天蛾上灯数据的分析(图5)表明,其趋光活动呈现出明显的节律。个体在19:00—21:00、21:00—00:00、00:00—03:00、03:00—06:00这4个时间段上灯的比例分

别为16.92%、30.64%、34.59%、17.86%,表明绝大多数个体集中在21:00—次日03:00活动,尤其是00:00—03:00为活动高峰。

从物种特异性来看,不同种类表现出不同的上灯时间偏好:

1)傍晚活动型:如银斑天蛾(*Hayesiana triopus*)、霉斑索天蛾(*Smerinthulus perversa*)、闭目绿天蛾(*Callambulyx rubricosa*)、斜带鸟嘴天蛾(*Eupanacra mydon*)、青背长喙天蛾(*Macroglossum bombylans*)、西藏斜纹天蛾(*Theretra tibetiana*)、中线天蛾(*Elibia dolichus*)、平背线天蛾(*Cechetra lineosa*)主要在19:00—21:00上灯;

2)前半夜活动型:如构月天蛾(*Parum colligata*)、枇杷六点天蛾(*Marumba spectabilis*)、中南斗斑天蛾(*Daphnusa sinocontinentalis*)、摩尔鹰翅天蛾(*Ambulyx moorei*)、赭背天蛾(*Cerberonoton rubescens*)、土色斜纹天蛾(*Theretra lucasii*)、马鞭草天蛾(*Meganoton nyctiphanes*)、九节木长喙天蛾(*Macroglossum divergens*)主要在21:00—00:00上灯;

3)午夜活动型:如月天蛾(*Craspedortha porphyria*)、赭带天蛾(*Anambulyx elwesi*)、椴六点

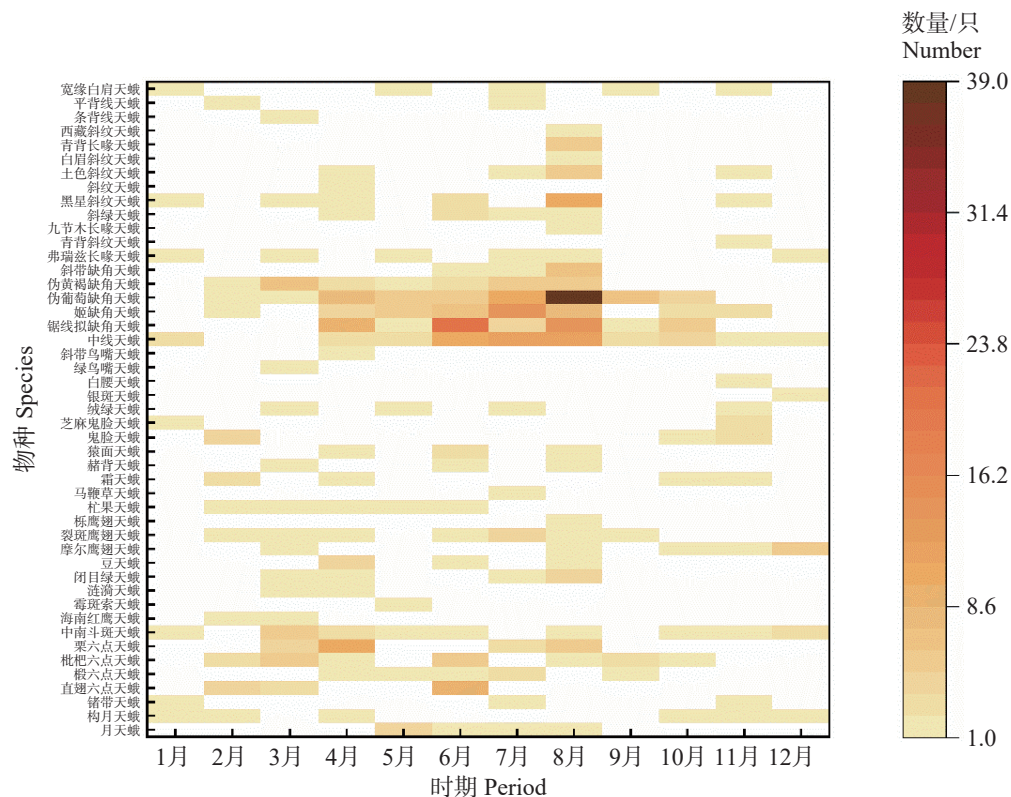


图4 黎母山景区天蛾科昆虫不同物种的飞行期分布与数量

Fig. 4 Flight period distribution and abundance of Sphingidae in Limu Mountain scenic area

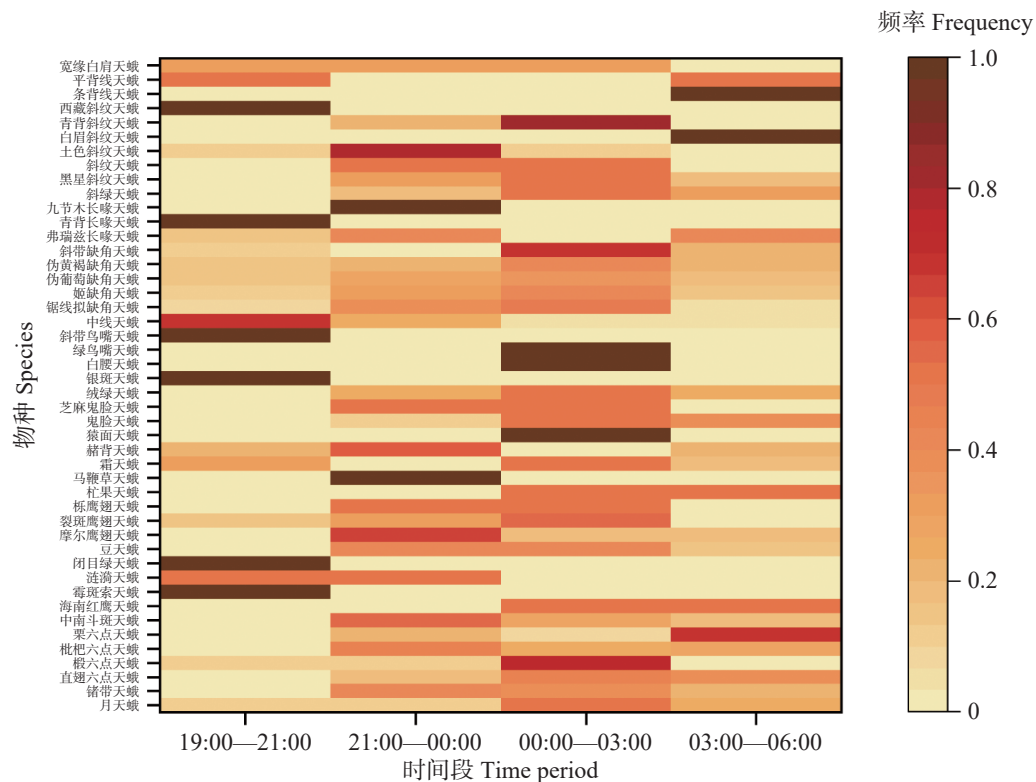


图5 黎母山景区天蛾科昆虫不同时间段的上灯频率

Fig. 5 Light-attraction frequency of Sphingidae at different time periods in Limu Mountain scenic area

天蛾 (*Marumba dysas*)、裂斑鹰翅天蛾 (*Ambulyx ochracea*)、霜天蛾 (*Psilogramma discistriga*)、鬼脸天蛾 (*Acherontia lachesis*)、绒绿天蛾 (*Angonyx testacea*)、伪黄褐缺角天蛾 (*Acosmeryx pseudomissa*)、斜带缺角天蛾 (*A. shervillii*)、斜绿天蛾 (*Pergesa acteus*)、黑星斜纹天蛾 (*Theretra boisduvalii*)、青背斜纹天蛾 (*T. nessus*) 主要在 00:00—03:00 上灯;

4) 后半夜至清晨活动型: 如直翅六点天蛾 (*Marumba cristata*)、海南红鹰天蛾 (*Rhodambulyx hainanensis*)、芒果天蛾 (*Amphypterus panopua*)、栗六点天蛾 (*Marumba sperchius*)、白眉斜纹天蛾 (*Theretra nessus*)、条背线天蛾 (*Cechetra lineosa*) 主要在 00:00—06:00 上灯;

5) 跨时段活动型: 如豆天蛾 (*Clanis bilineata*)、栎鹰翅天蛾 (*Ambulyx liturata*)、锯线拟缺角天蛾 (*Acosmeryxoides harterti*)、芝麻鬼脸天蛾 (*Acherontia styx*)、姬缺角天蛾 (*Acosmeryx anceus*)、伪葡萄缺角天蛾 (*A. pseudonaga*)、斜纹天蛾 (*Theretra clotho*) 主要在 21:00—03:00 上灯;

6) 广谱活动型: 如涟漪天蛾 (*Opistoclanis hawkeri*) 19:00—00:00, 宽缘白肩天蛾 (*Rhagastis*

acuta) 19:00—03:00, 弗瑞兹长喙天蛾 (*Macroglossum fritzei*) 21:00—00:00 和 03:00—06:00、猿面天蛾 (*Megacorma obliqua*)、白腰天蛾 (*Daphnis placida*)、绿鸟嘴天蛾 (*Eupanacra busiris*) 在 00:00—03:00 出现, 无单一明显高峰。

2.3 区系分析

2.3.1 世界动物地理区系 结合表 S1 和昆虫区系资料 (表 2), 发现黎母山景区天蛾科昆虫东洋界均有分布 (47 种), 在古北界分布的有 25 种, 在澳洲界分布的仅 3 种, 无新北界、非洲界、新热带界分布。在世界动物区划中共有 4 种分布型 (表 2): 以东洋界、古北界共有型占优势, 共 24 种, 占比为 51.06%; 其次为东洋界型, 有 20 种, 占比为 42.55%; 东洋界、澳洲界共有型有 2 种, 占比为 4.26%; 最少的是东洋界、古北界、澳洲界共有型, 仅 1 种, 占比为 2.13%。表明黎母山景区的天蛾在东洋区均有分布, 而且其多数为东洋界、古北界共跨区分布。总体来说, 黎母山大蚕蛾科的区系特征表现出显著的热带区系特征, 与海南岛的自然环境相吻合。

2.3.2 中国动物地理区系 黎母山景区天蛾科昆虫在中国动物地理区系中的分布格局, 与其热带

表 2 黎母山景区天蛾科昆虫在世界及中国动物地理区系中的分布型统计

Tab. 2 Statistics of distribution patterns of Sphingidae from Limu Mountain scenic area in the global and Chinese zoogeographical regions

分布型 Distribution Pattern	物种数 Species No.	占比/% Percentage
世界动物地理区系 Zoogeographic fanua of world		
东洋—古北界 Oriental—Palaeartic realm	24	51.06
东洋界 Oriental realm	20	42.55
东洋—澳洲界 Oriental—Australasian realm	2	4.26
东洋—古北—澳洲界 Oriental—Palaeartic— Australasian realm	1	2.13
中国动物地理区系 Zoogeographic fanua of China		
华南—华中—西南区 South—Central—Southwest	27	57.45
华南—华中—西南— 华北—青藏区 South—Central—Southwest— Northeast—Qing-Zang	6	12.77
华南—华中—西南—青藏区 South—Central—Southwest— Qing-Zang	4	8.51
其他分布型 Others	10	21.27

属性及地理位置高度吻合(表 2)。所有物种(47 种)在华南区均有分布,且与相邻的西南区(97.9%, 46/47)和华中区(95.7%, 45/47)联系极为紧密。向北部、西部干旱和高纬度地区,物种数量显著递减,在华北区、青藏区、东北区及蒙新区的分布种数分别降至 14 种、15 种、6 种和 3 种。

从分布型来看(表 2),华南—华中—西南分布型是绝对主导类型,共有 27 种,占总物种数的 57.4%,这充分体现了黎母山所在的中国东南—西南部热带、亚热带区域是天蛾分布的核心区。此外,广泛分布型(跨 4 区及以上)的物种也占有一定比例(12.77%),如遍布全国大部分地区的构月天蛾等,显示了部分天蛾种类具有较强的扩散能力和广泛的生态适应性。

3 讨 论

3.1 物种多样性 根据《中国天蛾科图鉴》记载,中国天蛾科昆虫共有 4 亚科 71 属 277 种,其中海南分布 105 种^[14]。本研究为期一年的灯诱调查,在

黎母山景区共记录天蛾科昆虫 3 亚科 29 属 47 种,分别占全国天蛾种数的 16.97% 和海南天蛾种数的 44.7%。值得注意的是,黎母山景区面积不足全国总面积的 0.36%,却拥有如此高的物种丰富度凸显了该区域在天蛾科昆虫多样性保护与研究中的重要地位。进一步的群落结构分析表明,其物种组成以常见种(22 种)和稀有种(22 种)为主体,符合典型生物群落的普遍特征。

纵观海南岛天蛾科研究历程,从早期(1981—1983 年)尖峰岭记录的 63 种^[29],至 1997 年《中国动物志》^[12]与 2002 年《海南森林昆虫》^[13]分别记载的 75、82 种,再到 2023 年《中国天蛾科图鉴》对海南岛天蛾科昆虫进行了更为系统和全面的记录,物种数量达到 105 种^[9],这一明显的递增趋势不仅反映了研究工作的逐步深入和研究方法的不断完善,也暗示随生态环境的变化,可能有更多的天蛾科昆虫物种被发现和识别。

然而,本研究发现黎母山的天蛾种类与海南岛已有历史记录的重合度较低。具体而言,与尖峰岭(重合 22 种)^[23]、《中国动物志》(重合 25 种)^[14]、《海南森林昆虫》(重合 27 种)^[13]及《中国天蛾科图鉴》^[14](重合 47 种)的记录相比,物种相似性分别仅为 34.9%、33.3%、32.9% 和 44.8%。这一发现引出了一个关键问题:这究竟是历史记录的偏差,还是海南岛内部存在着被严重低估的群落差异?这更可能是源于海南岛内部真实的群落差异,有待进一步验证。岛上破碎化的热带雨林如同“天空岛屿”,可能已促使天蛾群落在不同区域发生特异性演化。这一发现凸显了海南热带雨林国家公园建设的核心价值:对于保护这些相互隔离、独具特色的生物群落而言,建立全面的生态廊道和实施整体性保护策略至关重要。

与近期王和旺等^[15]的研究结果相比,本研究在灯诱过程中未成功诱集到 14 种天蛾科物种。与之形成对照的是,该研究结果中存在 22 种物种未被记录。这一对比暗示了不同研究在监测方法、时间窗口、监测区域覆盖度等方面可能存在差异,或能为后续更全面地掌握黎母山天蛾科物种多样性提供进一步探索的方向。本研究结果在反映黎母山物种多样性的同时,也存在一定局限性。首先,单一的夜间灯诱法难以有效捕获日行性种类(如银斑天蛾属等),影响了对天蛾物种多样

性的全面评估。其次,调查范围集中于海拔 600 m 左右的区域,未能覆盖低海拔栖息地及国家公园核心区。不同海拔和生境类型可能孕育着不同的天蛾物种,由于调查范围的局限,无法全面了解黎母山乃至海南热带雨林国家公园天蛾科昆虫的真实多样性状况。同时,每月诱集所得的昆虫数量会受到当月气温和降雨量的影响而产生波动,特别是在 9 月,受台风“摩羯”影响,诱集的昆虫个体数量下降尤为显著。台风带来的极端天气,一方面直接限制了昆虫的飞行活动,使其难以被诱捕;另一方面,可能会对昆虫的栖息地造成破坏,导致昆虫种群数量在短期内减少。因此,未来的研究可通过结合日间网捕、糖醋液诱集等多种方法,并扩大海拔梯度与生境类型的调查范围,同步记录气候因子,以更全面地揭示黎母山乃至海南热带雨林国家公园的天蛾科昆虫多样性全貌。

3.2 趋光节律 前人研究表明,不同夜行性昆虫的上灯时间存在差异^[30-33]。本研究通过晚上 19:00—次日 06:00 全时段监测,首次系统揭示了黎母山天蛾科昆虫的夜间趋光节律存在显著的时间分化与物种特异性(图 5)。尽管天蛾总体上在 21:00—次日 03:00 最为活跃,但不同物种表现出截然不同的活动高峰,可明确划分为“傍晚活动型”“午夜活动型”等至少 5 种模式。这一精细的时序生态位分化,很可能是天蛾科物种为减少种间竞争、实现共存所演化出的重要策略,也为深入理解热带昆虫群落的组装机理提供了新的视角。

与周阳等^[34]关于灯诱帐更易捕获大型蛾类的发现不同,本研究发现不同时段上灯的天蛾在翅展(40.34 ~ 112.05 mm)与体长(25.87 ~ 61.52 mm)上无显著差异。这表明,在本研究涉及的天蛾类群中,体型并非驱动其夜间活动时序分化的关键因素,其趋光节律可能更多地受内在生物钟、物种特定的交配时间窗口或逃避天敌等行为策略的调控。

此外,本试验中诱集的个体雌雄比严重失衡(1 : 10),与斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)^[32]及大蚕蛾等类群的观察结果一致^[35-38]。这一普遍现象通常归因于雄虫更强的扩散能力与求偶需求^[39-40]。然而,结合本研究发现的特有活动模式,推测雌雄个体在相同物种内可能也存在未被察觉的活动节律差异。例如,雄虫集中上灯的时间可能正对应

其搜寻配偶的高峰期,而雌虫的活动则可能与产卵关联更为紧密。这一假设亟待通过更精准的标记追踪或性别特异性行为观察予以验证。

综上所述,天蛾科的趋光行为是物种内在生理节律、生态位分化及性别因素共同作用的复杂表现。未来研究需结合遗传学、化学生态学及微环境监测等多学科手段,才能更全面地解析这一重要生态行为的驱动机制。

3.3 区系分析 黎母山天蛾科昆虫的区系组成深刻反映了其热带北缘的地理属性。世界动物地理区划以东洋界成分为绝对主体,并呈现出显著的东洋—古北界过渡特征(表 2),这与海南岛作为古北界与东洋界之间过渡带的地理位置完全吻合。

在中国动物地理区划中,物种分布以华南区为中心,并高度集中于华南—华中—西南这一连续的东亚热带—亚热带区域(占比 57.45%)。这一分布格局主要由两方面因素驱动:一方面,该区域水热条件优越,为天蛾提供了连续且适宜的生境;另一方面,天蛾成虫强大的飞行扩散能力,有效促进了物种在该地理单元内的广泛交流与分布。本研究结果从昆虫区系的角度,印证了海南热带雨林国家公园是维系中国东南部热带生物多样性关键组分的重要生态枢纽。

4 结 语

本研究系统揭示了海南黎母山景区天蛾科昆虫的物种多样性、趋光节律及区系特征,证实该区域是天蛾科昆虫的重要栖息地与富集区。研究结果不仅丰富了热带雨林昆虫多样性本底资料,也为海南热带雨林国家公园的生物多样性保护与可持续管理提供了科学依据。伪葡萄缺角天蛾、锯线拟缺角天蛾、中线天蛾等优势种以及海南红鹰天蛾这一特有种,是黎母山生物多样性的关键组成部分,对维护生态系统稳定和平衡具有重要意义,保护它们有助于维持当地生物多样性。3—8 月以及 21:00—次日 03:00 分别是天蛾科昆虫的发生高峰期和上灯高峰期,在此期间进行监测和研究能显著提高效率,获取更准确全面的数据。未来应进一步加强昆虫资源的系统监测与生态功能研究,推动其在生态平衡维护中发挥更大价值,实现保护与利用的协同发展,为热带雨林生态系统的完整性与稳定性保障提供支撑。

致谢: 感谢原浙江大学昆虫科学研究所张传溪教授对物种鉴定给予的指导。

支撑材料: 附表1。 <https://rdswxb.hainanu.edu.cn/article/doi/10.15886/j.cnki.rdsxb.20250143>

参考文献:

- [1] Timko J, Satterfield T. Criteria and indicators for evaluating social equity and ecological integrity in national parks and protected areas[J]. *Natural Areas Journal*, 2008, 28(3): 307–319. [https://doi.org/10.3375/0885-8608\(2008\)28\[307:CAIFES\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3375/0885-8608(2008)28[307:CAIFES]2.0.CO;2)
- [2] 吴敏. 我国珍稀濒危野生动植物种群数量稳步增长[N]. 中国政府采购报, 2025–05–27(008). <http://doi.org/10.28071/n.cnki.ncgcb.2025.000582>.
- [3] 陆忠诚, 方发之, 吴钟亲. 黎母山不同树种林分下斯里兰卡天料木苗木生长状况分析[J]. *乡村科技*, 2023, 14(12): 120–124. <https://doi.org/10.19345/j.cnki.1674-7909.2023.12.032>
- [4] 沙林华, 黎肇家, 徐建辉, 等. 黎母山片区昆虫物种组成及物种多样性分析[J]. *安徽农业科学*, 2024, 52(20): 82–84. <https://doi.org/10.3969/j.issn.0517-6611.2024.20.019>
- [5] 涂志华, 周凌峰, 黄艳萍, 等. 海南黎母山热带云雾林3种优势树种根际土壤微生物量季节动态及根际效应[J]. *生态科学*, 2023, 42(2): 119–126. <https://doi.org/10.14108/j.cnki.1008-8873.2023.02.015>
- [6] 熊桃. 基于生态保护的海南黎母山国家森林公园总体规划研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [7] Kitching R L, Orr A G, Thalib L, et al. Moth assemblages as indicators of environmental quality in remnants of upland Australian rain forest[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 37(2): 284–297. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00490.x>
- [8] Reinwald C, Bauder J A S, Karolyi F, et al. Evolutionary functional morphology of the proboscis and feeding apparatus of hawk moths (Sphingidae: Lepidoptera)[J]. *Journal of Morphology*, 2022, 283(11): 1390–1410. <https://doi.org/10.1002/jmor.21510>
- [9] Scoble M J. Hawkmoths of the world: an annotated and illustrated revisionary checklist (Lepidoptera: Sphingidae) [J]. *Systematic Entomology*, 2001, 26(1): 125–129. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3113.2001.01394.x>
- [10] Rougerie R, Haxaire J, Kitching I J, et al. DNA barcodes and morphology reveal a hybrid hawkmoth in Tahiti (Lepidoptera: Sphingidae)[J]. *Invertebrate Systematics*, 2012, 26(6): 445–450. <https://doi.org/10.1071/IS12029>
- [11] Wang X, Zhang H, Kitching I, et al. First mitogenome of subfamily Langiinae (Lepidoptera: Sphingidae) with its phylogenetic implications[J]. *Gene*, 2021, 789: 145667. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2021.145667>
- [12] 朱弘复, 王林瑶. 中国动物志-昆虫纲 第十一卷 鳞翅目 天蛾科[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 190–380.
- [13] 黄复生. 海南森林昆虫[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 572–581.
- [14] 蒋卓衡, 黄嘉龙. 中国天蛾科图鉴[M]. 福州: 海峡书局, 2023, 2–418.
- [15] 王和旺, 黎春慧, 王星. 海南省黎母山自然保护区天蛾科昆虫多样性调查[C]. 湖南省昆虫学会. 华中昆虫研究: 第十九卷. 中国农业科学技术出版社, 2025: 138–146. <https://doi.org/10.26914/c.cnkihy.2025.039826>
- [16] 林涛, 林乃铨. 武夷山自然保护区天蛾科昆虫多样性的初步研究[J]. *昆虫分类学报*, 2011, 33(4): 303–311.
- [17] Arditti J, Elliott J, Kitching I J, et al. ‘Good Heavens what insect can suck it’—Charles Darwin, *Angraecum sesquipedale* and *Xanthopan morgani praedicta*[J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2012, 169(3): 403–432. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2012.01250.x>
- [18] Nilsson L A. The evolution of flowers with deep corolla tubes[J]. *Nature*, 1988, 334(6178): 147–149. <https://doi.org/10.1038/334147a0>
- [19] Santos F L, Casagrande M M, Mielke O H H. Saturniidae and sphingidae (Lepidoptera, Bombycoidea) assemblage in Vossoroca, Tijucas do Sul, Paraná, Brazil[J]. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2015, 87(2): 843–860. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520140368>
- [20] 赵国秀, 杨鑫茹, 孙广仁, 等. 豆天蛾蛹蛋白水解液饮料的研制[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(20): 162–168. <https://doi.org/10.12161/j.issn.1005-6521.2020.20.027>
- [21] 王淑荣. 麦积山风景区资源昆虫调查研究[J]. *现代农业科技*, 2025(11): 153–159. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-5739.2025.11.037>
- [22] 中国科学院动物研究所. 中国蛾类图鉴IV[M]. 北京: 科学出版社, 1981: 391–407.
- [23] 朱弘复. 蛾类图册[M]. 北京: 科学出版社, 1973: 134–140.
- [24] 杨星科. 秦岭昆虫志 8 鳞翅目 大蛾类[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2017: 23–63.
- [25] 李再霖, 彭锋, 王兴民, 等. 潮州单丛茶区不同海拔瓢虫科昆虫群落结构与多样性[J]. *茶叶科学*, 2025, 45(1): 99–109. <https://doi.org/10.13305/j.cnki.jts.2025.01.012>
- [26] 中国自然区划工作委员会. 中国动物地理区划与中国昆虫地理区划[M]. 北京: 科学出版社, 1959: 4–49.
- [27] 章士美, 赵泳祥. 中国农林昆虫地理分布[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 3–7.
- [28] 张荣祖. 中国动物地理[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 304–392.
- [29] 刘元福. 海南岛尖峰岭林区天蛾的生态分布[J]. *生态学报*, 1987, 7(3): 238–245.
- [30] 杨现明, 陆宴辉, 梁革梅. 昆虫趋光行为及灯光诱杀技术[J]. *照明工程学报*, 2020, 31(5): 22–31. <https://doi.org/10.11974/j.cnki.11-3666/ts.2020.05.002>

- [org/10.3969/j.issn.1004-440X.2020.05.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-440X.2020.05.005)
- [31] 刘立春. 昆虫趋光行为的初步观察[J]. 南京农业大学学报, 1982(2): 52–59.
- [32] 刘嘉仪. 斜纹夜蛾上灯节律及灯光诱捕效果评价[D]. 武汉: 华中农业大学, 2021. <https://doi.org/10.27158/d.cnki.ghznu.2021.000915>
- [33] 李新然. 元江稻飞虱及其天敌灯下种群动态与上灯行为节律研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2022. <https://doi.org/10.27244/d.cnki.gnjnu.2022.001556>
- [34] 周阳, 权子豪, 段曼微, 等. 基于林分昆虫多样性调查的传统灯诱法改进效果分析[J]. 生态学报, 2023, 43(16): 6851–6861. <https://doi.org/10.5846/stxb202205131348>
- [35] Williams C B. An analysis of four years captures of insects in a light trap. Part II The effect of weather conditions on insect activity; and the estimation and forecasting of changes in the insect population[J]. Transactions of the Royal Entomological Society of London, 1940, 90(8): 227–306.
- [36] Steinbauer M J. Using ultra-violet light traps to monitor autumn gum moth, *Mnesampela privata* (Lepidoptera: Geometridae), in south-eastern Australia[J]. *Australian Forestry*, 2003, 66(4): 279–286. <https://doi.org/10.1080/00049158.2003.10674922>
- [37] Altermatt F, Baumeier A, Ebert D. Experimental evidence for male biased flight - to - light behavior in two moth species[J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2009, 130(3): 259–265. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2008.00817.x>
- [38] 刘寿明, 谭放军, 周程爱. 性信息素对灯光诱捕甜菜夜蛾效果的影响[J]. 湖南农业科学, 2022(3): 64–66. <https://doi.org/10.16498/j.cnki.hnnykx.2022.003.014>
- [39] 程文杰, 郑霞林, 王攀, 等. 昆虫趋光的性别差异及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12): 3351–3357. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.2011.0472>
- [40] 张锦芳, 张阳, 徐文平, 等. 昆虫的趋光性及其应用于害虫治理的研究进展[J]. 世界农药, 2020, 42(11): 26–35. <https://doi.org/10.16201/j.cnki.cn10-1660/tq.2020.11.04>

Diversity of Sphingidae insects in Limu Mountain Scenic Area, Hainan

Xia Mengna^{1,2#}, Lu Junhui², Zheng Yongliang², Zhou Weihao², Zhang Baoqin^{1,2*}

(1. Hainan Institute of National Park/Key Laboratory of Protection and Development for Hainan National Park, Haikou, Hainan 570203, China; 2. School of Tropical Agriculture and Forestry/School of Agriculture and Rural Affairs/School of Rural Revitalization, Hainan University, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: Current research on the diversity of Sphingidae insects in Limushan Scenic Area, a key ecological unit of Hainan Tropical Rainforest National Park, still lacks fixed-point, continuous, and standardized monitoring, and the community structure and spatiotemporal dynamics of these insects remain unclear. To address this gap, a systematic monitoring of Sphingidae insects in the Limushan Scenic Area was conducted from October 2023 to September 2024 by using nocturnal light trapping (19:00–06:00 the next day). A total of 47 species of Sphingidae insects were recorded, belonging to 29 genera across three subfamilies. Among them, the Macroglossinae subfamily was the dominant group (24 species, accounting for 51.06%), followed by Smerinthinae (17 species, 36.17%) and Sphinginae (6 species, 12.76%). The main dominant species were *Acosmeryx pseudoenodonta* (15.41%), *Pseudoclanis postica* (10.53%), and *Clanis bilineata* (10.15%), with captured individuals predominantly male. Temporal pattern analysis indicated that adult flight activity primarily occurred from March to August, and that nocturnal phototaxis activity peaked between 21:00 and 03:00, accounting for 65.23% of the total individuals collected. The fauna composition was predominantly Oriental, with a high proportion of species shared with Central and Southwest China, reflecting species exchange between adjacent geographical units and the transitional characteristics of tropical–subtropical fauna. These findings preliminarily reveal the diversity composition and spatiotemporal activity patterns of Sphingidae insects in the Limushan Scenic Area, highlight the importance of this region in biodiversity conservation, and provide foundational data for the biodiversity monitoring and management of Hainan Tropical Rainforest National Park

Keywords: Hainan Tropical Rainforest National Park; Sphingidae; Limushan; species diversity; spatiotemporal pattern; phototactic rhythm

(责任编辑: 邹游兴)