

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.02.007

代川虎, 崔凯晞, 谷娜, 等. 重庆市缙云山萤火虫多样性及栖息地调查 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(2): 70-82.

重庆市缙云山萤火虫多样性及栖息地调查

代川虎, 崔凯晞, 谷娜, 闫振天, 余佳豪, 陈斌

重庆师范大学 生命科学学院, 重庆 401331

摘要: 萤火虫是指萤科 Lampyridae 和雌光萤科 Rhagophthalmidae 的统称, 是重要的资源昆虫, 也是重要的环境指示昆虫, 有重要的经济价值和科研价值。为明确重庆市缙云山国家级自然保护区萤科 Lampyridae 和雌光萤科 Rhagophthalmidae 昆虫的种类、分布及栖息地特性, 于 2020 年 5 月至 2024 年 4 月期间, 分别在缙云山国家级自然保护区的核心区和延展区内展开了系统调查。此次调查覆盖了从高海拔至低海拔的不同区域, 采用目视观察和扫网采集相结合的方法, 成功采集并制作标本, 随后对其开展形态分类鉴定、种群密度测定和地理区系分析。研究结果表明: 重庆市缙云山国家级自然保护区共有萤科 2 亚科 7 属 12 种, 其中萤亚科有 2 属 5 种, 包含扁萤属一未知种; 熠萤亚科有 5 属 7 种; 种群密度分析显示重庆市大学城高速公路旁与大学城杨家沟水库种群密度变化显著; 由中国动物地理区系分析可知, 该保护区萤火虫有 5 种分布型, 以西南—华南—华中分布型为主, 占 54.5%; 由世界动物地理区系分析可知, 该保护区以东洋界为主, 占 63.64%。该研究揭示了重庆市缙云山国家级自然保护区萤科和雌光萤科昆虫的种类和分布情况, 为该区域萤火虫保护和利用提供了科学依据, 也为探明我国萤火虫区系积累了资料。

关键词: 萤科; 雌光萤科; 缙云山国家级自然保护区; 调查;
区系

中图分类号: Q969.48⁺3

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2025)02-0070-13

Investigation of Firefly Diversity and Habitat in Jinyun Mountain, Chongqing

DAI Chuanhu, CUI Kaixi, GU Na,
YAN Zhentian, YU Jiahao, CHEN Bin

College of Life Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

Abstract: Fireflies, belonging to the families Lampyridae and Rhagophthalmidae, are significant resource

收稿日期: 2024-10-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(31672363, 31872262, 31772527); 国家科技基础性工作专项重点项目(2015FY210300)。

作者简介: 代川虎, 硕士研究生, 主要从事萤火虫分类和保育研究。

通信作者: 陈斌, 二级教授, 博士研究生导师。

insects and important environmental indicator insects. To identify the species, distribution, and habitat characteristics of these fireflies in Jinyun Mountain National Nature Reserve in Chongqing, and to provide basic data for further conservation and breeding efforts, systematic surveys were conducted in both the core and extended areas From May 2020 to April 2024. The survey covered various areas from high to low altitudes, using visual observation and net sweeping. Specimens were successfully collected and prepared for analysis. Morphological classification, population density measurement, and geographical distribution analysis were then conducted. The research results show that there are 12 species of fireflies in the reserve, belonging to 7 genera and 2 subfamilies of the Lampyridae. Specifically, 5 species in 2 genera of the subfamily Lampyrinae (including an unknown species of the genus *Lamprigera*) and 7 species in 5 genera of the subfamily Luciolinae were found. Population density analysis revealed significant differences between populations near the highway in the university town and those near Yangjiagou Reservoir according to China's zoogeographical analysis, the fireflies in the reserve have five distribution types, with the Southwest-South China-Central China type being the dominant, accounting for 54.5%. The analysis of world's zoogeographical regions show that the Oriental Realm dominates the reserve, accounting for 63.64%. This study initially reveals the species and distribution of Lampyridae and Rhagophthalmidae insects in Jinyun Mountain National Nature Reserve, providing a scientific basis for their conservation and utilization in this area, and also contributing to the exploration of China's firefly fauna.

Key words: Lampyridae; Rhagophthalmidae; Jinyun Mountain National Nature Reserve; investigate; fauna

萤火虫隶属于鞘翅目(Coleoptera)多食亚目(Polyphaga),是萤科(Lampyridae)和雌光萤科(Rhagophthalmidae)的统称。萤科昆虫的分类可追溯至 1758 年林奈的《自然系统》(第 10 版);雌光萤科的分类最早可追溯至 McDermot(1964)的报道^[1]。Olivier(1910)将萤科分为 9 亚科 54 属;McDermot(1966)将萤科分为 7 亚科 88 属;Crowson(1972)的报道分为 8 亚科;Nakane(1991)也将萤科分为 8 亚科,其中有 7 个亚科与 Crowson 相同,在 Nakane 分类系统中是 Psilocladinae,而在 Crowson 分类系统中是 Cyphonocerinae。目前在萤科的分类中,亚科水平主要采用的是 Nakane 系统,属级水平采用的是 McDermot 系统^[2]。随着现代分子技术的发展,逐渐有新的亚科出现,2019 年 Martin 等^[3]通过系统发育关系将 Lamprohizini 提升为 Lamprohizinae;同年 Ferreira 等^[4]利用 18S *rRNA*、*rrnl* 和 *cox1* 这 3 个基因构建系统发育树,将 *Cheguevaria* 提升为一个亚科;随后 Ferreira 等^[5]将 *Chespirito* 提升为 *Chespiritoinae*。因此,目前世界范围内有萤科 11 亚科(Amydetinae, Luciolinae, Photurinae, Lampyrinae, pterotinae, Ototretinae, Psilocladinae, Cyphonocerinae, Lamprohizinae, Cheguevarinae, Chespiritoinae)。

何健镞等^[6]将中国台湾省的萤火虫进行了系统的调查研究;李学燕^[7]报道了中国萤科共有 5 亚科 13 属 116 种,雌光萤科有 1 属 16 种;付新华^[8]出版了中国第一本萤火虫生态图鉴,并在其后续研究中发表了萤科和雌光萤科的新物种;曹倍荣等^[9]发表了我国萤科和雌光萤科昆虫名录,记载我国有萤科 5 亚科 24 属 141 种 1 亚种,雌光萤科 1 属 12 种,并将这些种类的拉丁名一一对应了中文名称。本研究中给出的中文名称遵循曹倍荣等^[9]发表的名录。在最新的研究进展中,Zhu 等^[10]在 *Zootaxa* 发表了萤科窗萤属的 2 个新种;Wang 等^[11]在 *Zootaxa* 发表了雌光萤科的 3 个新种。至此,我国有萤科 5 亚科 24 属 143 种 1 亚种,雌光萤科 1 属 15 种。

尽管取得了这些进展,但关于重庆市萤科和雌光萤科的研究仍然非常有限。陈斌等^[12]在《重庆市昆虫》中记录了 4 种萤火虫;Wang 等^[11]新发表的物种中有一个是在重庆采集的。由于重庆市缙云山国家级自然保护区的萤火虫未被系统调查和研究过,因此开展缙云山国家级自然保护区萤火虫资源调查和研究具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

缙云山国家级自然保护区及其延展山脉位于重庆市北碚区、沙坪坝区、璧山区 3 区交界地带^[13]。地理位置介于东经 106.160°—106.413°, 北纬 29.228°—29.859°。缙云山最高海拔 951 m, 最低海拔 180 m, 年平均气温 13.6 °C, 夏季 8 月平均气温 24.3 °C, 冬季 1 月平均气温 3.1 °C, 极端高温 36 °C, 极端低温−4.6 °C, 相对湿度年平均为 87%, 年平均降水量为 1 611.8 mm。属典型的亚热带季风湿润性气候, 有丰富的物种资源和地形特征, 植被种类多, 保存良好, 森林覆盖率为 96.6%, 有中亚热带最典型的 4 种植被^[14], 分别为常绿阔叶林、楠竹林、灌木林、草地, 地域代表性强, 有重要的科研价值。

1.2 样本的采集

本次调查的时间为 2020 年 5 月—2024 年 4 月, 集中系统调查时间为 2023 年 4 月—2024 年 4 月, 每次样本采集活动均在每日的 16:30—22:30 进行, 且每月均安排有多次实地调查。本次调查采用目视观察和扫网采集相结合的方法, 调查路线从高海拔至低海拔, 从核心保护区向外扩展至其延展区^[15], 沿该路线的每个村庄逐一进行系统调查。

为了尽可能地保护萤火虫种质资源, 调查人员采用拍照定位的方式记录其分布状况, 每个物种仅采集少量的样本用于物种鉴定和描述。采集后的成虫被立即置于 75% 的酒精中, 并存放于−20 °C 冰箱中保存, 以确保标本的长期稳定性^[16]。此次调查涉及的生态环境类型多样, 涵盖了竹林、农田、湿地、溪流、林地、灌木、池塘等多种自然栖息地(表 1)。

表 1 重庆市缙云山国家自然保护区萤火虫调查采集地点

采集地点	经纬度	海拔/m	生境类型
重庆市北碚区杨家沟	29.835°N, 106.357°E	209.50	灌木、河流
重庆市北碚区柏林村	29.841°N, 106.355°E	182.80	灌木、池塘
重庆市北碚区廖家院	29.842°N, 106.359°E	194.70	池塘、草丛
重庆市北碚区沿滩村	29.845° N, 106.361°E	185.30	池塘、草丛
重庆市北碚区歇马街道	29.761°N, 106.344°E	479.00	灌木、河沟
重庆市北碚区水口村	29.757°N, 106.353°E	209.50	灌木、河沟
重庆市高新区虎溪街道	29.619° N, 106.290°E	258.59	农田、草丛
重庆市高新区虎溪街道	29.621°N, 106.288°E	269.50	农田、草丛
重庆市高新区虎溪街道	29.611°N, 106.280°E	259.50	林地、水库
重庆市北碚区竹林坝	29.830°N, 106.349°E	213.00	溪流、林地
重庆市北碚区王家弯	29.779°N, 106.350°E	521.00	溪流、灌丛
重庆市璧山区七塘镇	29.775° N, 106.299°E	350.20	林地、水渠
重庆市北碚区北泉村	29.847°N, 106.402°E	535.20	湿地、林地
重庆市北碚区北泉村	29.846° N, 106.400°E	516.30	湿地、水库
重庆市北碚区缙云村	29.840° N, 106.381°E	638.20	竹林、林地
重庆市北碚区缙云村	29.834° N, 106.385°E	754.00	林地、路边
重庆市北碚区缙云村	29.838°N, 106.390°E	742.00	公园、草丛
重庆市沙坪坝区青木关	29.693°N, 106.283°E	428.00	林地、路边
重庆市沙坪坝区三河村	29.646° N, 106.281°E	417.20	湿地、林地

1.3 样本制作、拍照、鉴定

标本制作采用的是针插法, 针插位置一般位于鞘翅基部, 不影响前胸背板的观察。标本拍照采用 KEYENCE-VHX-5000 深度三维拍照仪, 标本观察采用 OLYMPUS 解剖镜。所有标本存放于重庆师范大学昆虫科创基地。

成虫鉴定和描述主要参考文献[17]、文献[7-8,18-27]。幼虫的鉴定和描述主要参考文献[28]。由于调查区域内有人工打造的萤火虫生态园, 其里面的物种多为引进物种, 因此这里我们重点描述野生型物种。

1.4 缙云山萤火虫栖息地分析

缙云山萤火虫物种发生情况, 是根据每月中旬和月末到现场实地调查得出的结果。本文选取 3 个具有代表性的栖息地作为观测点, 观测近两年的种群密度变化。观测点分别是: 北碚区竹林坝、大学城杨家沟水库以及大学城高速公路旁。大学城杨家沟水库成虫种群密度的测定方法为记录 10 min 内发现成虫的数量。北碚区竹林坝幼虫种群密度的测定采用的是样方法, 即每个样方面积为 1 m², 统计其中幼虫的数量, 然后取平均值作为该观测点的种群密度。大学城杨家沟水库的种群密度由于幼虫太少, 无法使用样方法, 所以采用每次调查发现的幼虫数量, 计算平均值来代替种群密度。所有种群密度调查均记录 3 组数据以提高准确性。此外, 北碚区的温度数据来源于重庆市北碚区 2023 年历史天气报告, 平均温度取值于平均高温与平均低温的平均值。

2 结果与分析

本次调查共发现 19 个萤火虫分布点, 共有萤科 2 亚科 7 属 12 种, 其中萤亚科有 2 属 5 种, 包含扁萤属一未知种; 熠萤亚科有 5 属 7 种。萤火虫主要集中分布在缙云山国家级自然保护区的核心区周边, 其延展区也有零散分布, 但种群密度较低。由表 1 可知缙云山萤火虫在高海拔、中海拔、低海拔地区都有分布。值得注意的是, 它们更倾向于在水源附近及湿度相对较高的环境中栖息。

2.1 缙云山萤火虫名录及分类记述

2.1.1 黄宽歪片熠萤 *Asymmetricata circumdata* (Motschulsky 1854)

雄萤: 体长 11 mm 左右, 体宽 6 mm 左右, 头部黑色, 头部中央凹陷, 密布刻点, 复眼发达, 几乎占据整个头部的 $\frac{2}{3}$; 触角丝状, 11 节, 由基部到顶端逐渐变细, 触角第 1 节的长度是第 2 节的 3 倍, 触角窝相聚极近; 成虫口器不发达, 上唇硬化不良, 质地柔软, 与头部连接处灵活; 1 对镰刀状上颚小而弯曲, 下颚须第 4 节端部膨大, 下唇须 3 节, 末端类似于三角形(图 1)。

前胸背板橙黄色, 中间有凸起, 密布大而深的刻点, 背板上有一些分布不均的暗黄色斑纹, 前胸背板后缘角较尖锐, 其边缘微微向上翻折, 中央有一条线从前胸背板前缘延伸至前胸背板后缘; 中胸小盾片橙黄色, 形状似倒梯形, 密布有大而深的刻点, 刻点与前胸背板类似; 鞘翅黑色, 密布刻点与绒毛, 该刻点与前胸背板刻点不一样, 该刻点小且不规则, 左右鞘翅各有 4 条明显的纵向脊, 其中两条脊从鞘翅一端延伸到另一端, 鞘翅边缘橙黄色, 边缘稍凹陷, 凹痕到鞘翅末端逐渐消失; 鞘翅基部宽度近似等于前胸背板宽度, 两侧近平行; 前胸、中胸腹面橙黄色, 后胸腹面中央有一个不规则黑色圆斑, 密布绒毛; 各个足的基节、转节、腿节为橙黄色, 胫节、跗节为黑色; 腹部 2~5 节为黑色, 发光器两节, 乳白色, 位于第 6~7 腹节, 第 1 节为带状, 第 2 节半圆形且充满整个腹节; 腹部背面第 8 节不对称, 左侧微微凹陷且向下弯曲包裹住腹部第 7 节突出。

雌萤: 与雄萤相似, 发光器 1 节。

样本检视: 2♂2♀, 重庆市北碚区柏林村, 2023-07-02, 代川虎等采; 2♂, 重庆市北碚区靠近北温泉, 2023-07-03, 代川虎等采; 2♂, 重庆师范大学昆虫科创基地, 2023-06-23, 代川虎等采; 1♂, 重庆市巴南区萤火谷农场, 2021-08-10, 曹倍荣等采。

分布: 中国(重庆、广东、广西、贵州、湖南、海南、江西、香港), 印度, 泰国, 老挝。

生物习性：

幼虫：黄宽歪片熠萤系陆生类萤火虫，幼虫喜欢栖息在灌木丛及杂草的下方，对水的要求相较于其他萤火虫并不高，栖息地维持一定湿度即可，仅需要繁茂的植被以便保湿、遮荫，幼虫可取食昆虫的尸体，也可取食田螺。刚孵化出来的一龄幼虫也可发出肉眼可见的绿色荧光，且当人为刺激环境时可持续发出绿色荧光。

成虫：黄宽歪片熠萤的雄性成虫善于飞行，高度可达数十米，发出有节律的黄色荧光，其荧光亮度强，景观效果好，非常适合作为景观昆虫；雌成虫也可以飞行但通常情况下藏匿于草丛中，发出缓慢的闪光频率等待雄成虫交配，一个雌性成虫大约可以产 130 个卵；其发生时间为每年的 5—7 月。

生境：缙云山国家级自然保护区黄宽歪片熠萤通常分布在低海拔地区，一般会出现在水库周边、农田周围等开阔且植被繁茂的环境；黄宽歪片熠萤具有较强的耐热能力，能够抵御重庆炎热的夏天(重庆夏季最高温度可达 40 ℃)。



图 1 黄宽歪片熠萤标本照及生境照

2.1.2 穹宇突尾熠萤 *Pygoluciola qingyu* (Fu & Ballantyne 2008)

雌萤：体长 12 mm 左右，体宽 5 mm 左右，头部黑色，头部中央微陷，密布刻点与绒毛，两复眼之间绒毛较为浓密，其余部分较稀疏；头部无法完全缩进前胸背板，复眼非常发达，占据头部的 $\frac{1}{2}$ ；触角丝状，12 节，密布绒毛，9—12 节为乳白色，第 1 节短小，第 2 节长且粗大是第 1 节长度的 4 倍；成虫口器不发达，上唇不明显，1 对镰刀状上颚小而弯曲，下颚须第 4 节端部膨大，下唇须 3 节，端部黑色，极尖(图 2)。

前胸背板粉红色，具有两个对称的黄褐色近圆形斑点，前缘模糊透明，中央有一条线，从前缘向后缘延伸，由深变浅；鞘翅黑色，密布刻点与浅黄色绒毛，边缘微微向上翻折；中胸小盾片乳白色，前端左右两个盾片为粉红色；前足基节黄褐色、转节黄褐色、腿节四分之一黄褐色，其余黑褐色，胫节黄褐色，中足与后足颜色相似，跗节为黑褐色；前、中胸部腹面黄色，后胸部腹面黄褐色；腹部第 2 节到第 5 节为黑褐色，发光器两节，呈乳白色，第 6 节发光器带状，第 7 节发光器半圆形，且充满整个腹节，腹部第 8 节向后的突出结构向下弯曲包裹住腹部第 7 节末端。

雌萤：与雄萤相似，发光器为一节。

幼虫：分头胸腹 3 个部位，有 13 个体节，头部 1 节，胸部 3 节，每一个体节下有 1 对足，腹部 9 节；胸部背板整体形似风筝，黑色，胸部有 3 块背板且连接较为稀疏，背板中央有一条脊，脊上密布短小黑色刺突，后缘有 4 个突起，突起部分较圆滑，后缘有短小刺突朝尾部方向；背板密布刻点，有短小绒毛；胸部背板侧面有一黑色圆点突起；腿的基节转节呈黑色，腿节由转节向胫节防线逐渐变成黄褐色各占一半；腹部背面黑色，有 9 块背板紧密叠加起来，背板形状一致，腹部腹面黄褐色，腹部 9 节，发光器 1 对，乳白色，位于腹部第 8 节，呈点状结构；幼虫腹部侧面背板下方有块突起结构，突起顶端中央有一个黄色圆点。

样本检视：4 ♂，重庆市北碚区杨家沟，2023-07-05，代川虎等采；5 ♂，重庆市大学城萤火古农场，2020-07-10，曹倍荣等采。

分布：中国(重庆、广西、贵州、湖南、湖北、江西、江苏、云南、香港)。

生物习性：

幼虫：穹宇突尾熠萤系半水生萤火虫，幼虫取食昆虫尸体，也可取食田螺肉；活动性不强，可发出绿色荧光，有强光刺激后，长时间不发光；常栖息在潮湿的石滩上，夜晚在裸露的石滩上活动，区别于部分萤火虫藏匿在茂密的植被下。

成虫：雄性成虫能飞行，但一般情况下不飞行，常停留在树枝、树叶上；发出有节律黄色荧光，闪烁频率非常快，具有同频发光现象，当其中一只亮度较强的闪光时，成群的成虫跟着一起闪光，易受强光干扰，当其受强光刺激后长时间不发光；雌性成虫也可以与雄虫一样飞行，但一般不飞行，通常停留在树枝上，区别于雄性成虫，雌性成虫发出的是黄绿色荧光，且闪光频率不同于雄性；一个雌性成虫大约可产 100 个卵，其发生时间为每年的 6—8 月。

生境：穹宇突尾熠萤常出现在瀑布、小溪周边，整体地形大多为沟壑，周围大多为灌木，幼虫常在潮湿的石滩上活动；栖息地与外面温差较大，即使在炎热的夏季，栖息地温度也稳定在 25℃左右，栖息在一个局部环境中。



图 2 穹宇突尾熠萤标本照及生境照

2.1.3 卵翅窗萤 *Pyrocoelia amplissima* (Olivier 1886)

雄萤：体长 19 mm 左右，体宽 8 mm 左右，头部黑色，头部中央不凹陷，颗粒状且密布短小黑色绒毛；复眼较发达占据头部的二分之一；成虫口器不发达，上唇与唇基融合，上颚小而明显，下颚须第 4 节端部膨大，下唇须小，第 3 节下唇须顶端尖锐；头部能完全缩进前胸背板，触角为丝状，位于头部顶端中央两复眼之间，共 11 节，第 2 节触角很短，是第 1 节的二分之一，是第 3 节的四分之一(图 3)。

前胸背板橙黄色，宽度大于长度，半圆形，中央为橙红色矩形区域且有一条脊前缘延伸至后缘，前缘前端有 1 对小型月牙形透明斑，透明斑较小，后缘呈波浪状向上稍稍翻折，后缘角圆滑；中胸小盾片呈倒三角形，前端由两个小盾片组成，与中胸小盾片主体部分连结紧密，橙红色；鞘翅均为黑色，宽度大于前胸背板宽度，背面微微隆起，边缘稍向内凹，末端较圆滑，背面密布细小刻点；从腹面看整体为粉红色，腹部第 8 节向后方呈叶状突出；各足基节转节为黄色，腿节颜色由靠近转节方向向靠近胫节方向逐渐变黑且颜色各占一半，跗节和爪均为黑色；腹部橙红色，发光器 1 节，乳白色，月牙形，位于第 7 腹节中央，未占据整个第 7 腹节。

雌萤：无。

样本检视：1♂，重庆市大学城杨家沟水库，2024-04-12 代川虎采；4♂，广西壮族自治区南宁市武鸣区，2019-07-10，黄俊华等采。

分布：中国(重庆、福建、广西、湖北、四川、云南)。

生物习性：

成虫：卵翅窗萤的成虫为日夜两行性昆虫，以爬行为主，常出现在路边护栏、排水渠等地方，人们傍晚散步时偶有发现；发光器相对较小，白天未见发光，每年的 4 月即有成虫出现，是出现比较早的一种萤火虫。

生境：卵翅窗萤大多出现在树林、水库或水沟附近。



图 3 卵翅窗萤标本照及生境照

2.1.4 禄劝扁萤 *Lamprigera luquanensis* Dong & Li, 2021

雄萤: 体长 16.7 mm 左右; 体宽 7 mm 左右, 头部黑色, 完全被前胸背板所覆盖; 触角黑色, 丝状, 共 11 节, 几乎与前胸背板等长, 密布微小绒毛, 触角第 1—2 节较长且粗壮, 9—11 节逐渐变短、变细, 末端不分叉; 触角窝相聚极近, 复眼非常发达, 几乎与前胸部相连, 复眼之间有狭隙凹陷; 成虫口器不发达, 上唇不明显, 1 对镰刀状上颚小而弯曲, 下颚须第 4 节端部膨大(图 4)。

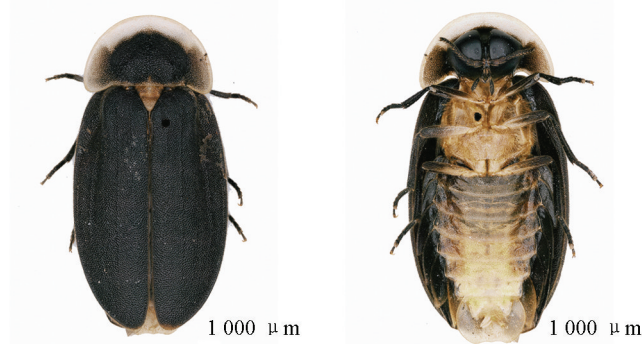
前胸背板近似于半圆形, 后缘向内凹陷明显, 中央有圆盘状黑色区域隆起, 在黑色中央圆盘的两侧有两个扩大的深棕色区域, 前端有两个半透明窗, 后缘角圆滑; 鞘翅黑色, 密布小刻点与浅黄色绒毛; 中胸小盾片菱形呈深褐色, 胸部腹面棕色; 臀板两侧呈圆弧形, 顶端稍稍凹陷; 各足基节、转节和腿节深褐色, 胫节和跗节为黑色; 腹节 2—4 黑棕色, 5—7 浅棕色, 发光器小呈点状, 乳白色, 位于第 7 腹节两侧。

雌萤: 无。

标本检视: 1♂, 重庆市大学城重庆师范大学家属院, 2018-10-15 曹倍荣等采。

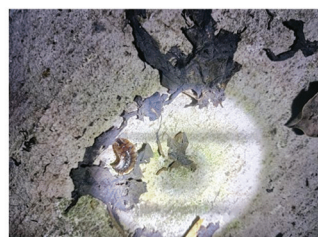
分布: 中国(重庆、湖北、云南)。

生物习性: 禄劝扁萤幼虫通常栖息在树林中的枯枝落叶下, 夜晚爬出来觅食, 在道路两旁的岩石缝或枯枝落叶中即可发现其身影。幼虫取食山蛭等昆虫尸体, 也可以取食田螺。禄劝扁萤的成虫为夜行性昆虫, 不善于飞行, 以爬行为主, 发光微弱, 路沿边、水泥路面等都可见其身影, 成虫发生的时间为每年 9—11 月。



a. 禄劝扁萤背部

b. 禄劝扁萤腹部



c. 禄劝扁萤生境: 树林、路边

d. 禄劝扁萤生境: 树林、路边

e. 禄劝扁萤生境: 树林、路边

f. 禄劝扁萤幼虫

图 4 禄劝扁萤标本照及生境照

2.1.5 扁萤属未知种: *Lamprigera* sp.

身体: 长且扁平, 通常前端圆滑似盾, 尾部稍尖; 胸部 3 节, 腹部 9 节; 背板像鳞片一样重叠分布, 胸部的背板间隔较长, 腹部背板间隔较短, 背板中央有一条对称的凹线, 从头部延伸到尾部, 背板上密布刻点和细小绒毛; 腹面各节间有节间膜存在, 与背板结构配合使躯体保持良好的柔性; 腹面各节有对称的暗黄色圆形突起, 其中胸部第 1 节和腹部第 9 节突起显著, 可能与幼虫的爬行方式相关; 尾部臀足像菊花散开一样, 具有较强的吸附力, 可吸附在物体表面辅助物体前行(图 5)。

头部: 正面观, 头部长大于宽, 当遇到危险时头可以完全缩进背板, 身体蜷缩成一团; 爬行时头部伸出背板, 左右探路, 上颚为一镰刀形棒状结构, 末端极其尖锐, 表面光滑; 下颚须端部膨大, 表面有少量较长的细毛, 但密布细小绒毛; 下唇须细长, 棒状结构, 表面密闭绒毛。

胸部：胸部 3 节各有 1 对足，跗节为光滑的爪子，褐色，具有很强的抓地和攀爬能力；基节、转节、腿节、胫节表面均有少量较粗且长的腿毛；基节根部为褐色，靠近转节为黄色各一半，其余部分均为黄色；胸部腹面似水槽，中间部分凹陷，两侧突起，表面未发现粗长的毛。

腹部：9 节，腹面同胸部一样似水槽，中间凹陷，两边突起，但是腹部各节凹陷处上端，即侧面有长且粗的毛，各节均有，少量稀疏分布；整个腹部和胸部均在背部似鳞片结构的保护之下。

标本检视：3 幼虫，重庆市北碚区缙云村，2023-06-03 代川虎等采。

生物习性：扁萤属的幼虫通常会出现在水源附近的草丛中，取食昆虫尸体，也可以取食田螺且食量较大，1 只幼虫可取食完 1 只田螺；未发现聚集取食、抱团等行为，更偏向于独立取食；通常每年 6—7 月即有大量肉眼易观察的发光幼虫出现，其他月份也发现了幼虫，但由于龄期较小发光微弱，不易观察；当遇到危险时身体会蜷缩成一团，头部缩进背板内，爬行速度较快，攀爬能力较强，可沿着路沿或养殖箱垂直爬升。



图 5 扁萤属标本照及生境照

2.1.6 雷氏萤(引种)*Aquatica leii* (Fu & Ballantyne 2006)

分布：广西、湖南、湖北、江西、江苏。

2.1.7 条背硬萤(引种)*Sclerotia substriata* (Gorham 1880)

分布：湖北、海南、台湾。

2.1.8 端黑棘手萤(引种)*Abcondita chinensis* (Linnaeus 1767)

分布：安徽、福建、湖北、江苏、台湾。

2.1.9 边褐棘手萤(引种)*Abcondita terminalis* (Olivier 1883)

分布：福建、湖北、河南、台湾、云南、香港。

2.1.10 大胸窗萤(引种)*Pyrocoelia pectoralis* (Olivier 1883)

分布：福建、广西、湖北、四川、云南。

2.1.11 台湾窗萤(引种)*Pyrocoelia analis* (Fabricius 1801)

分布：福建、广东、广西、贵州、海南、黑龙江、江西、台湾、香港、云南。

2.1.12 黄缘水萤(引种)*Aquatica ficta* (E. Olivier 1909)

分布：台湾。

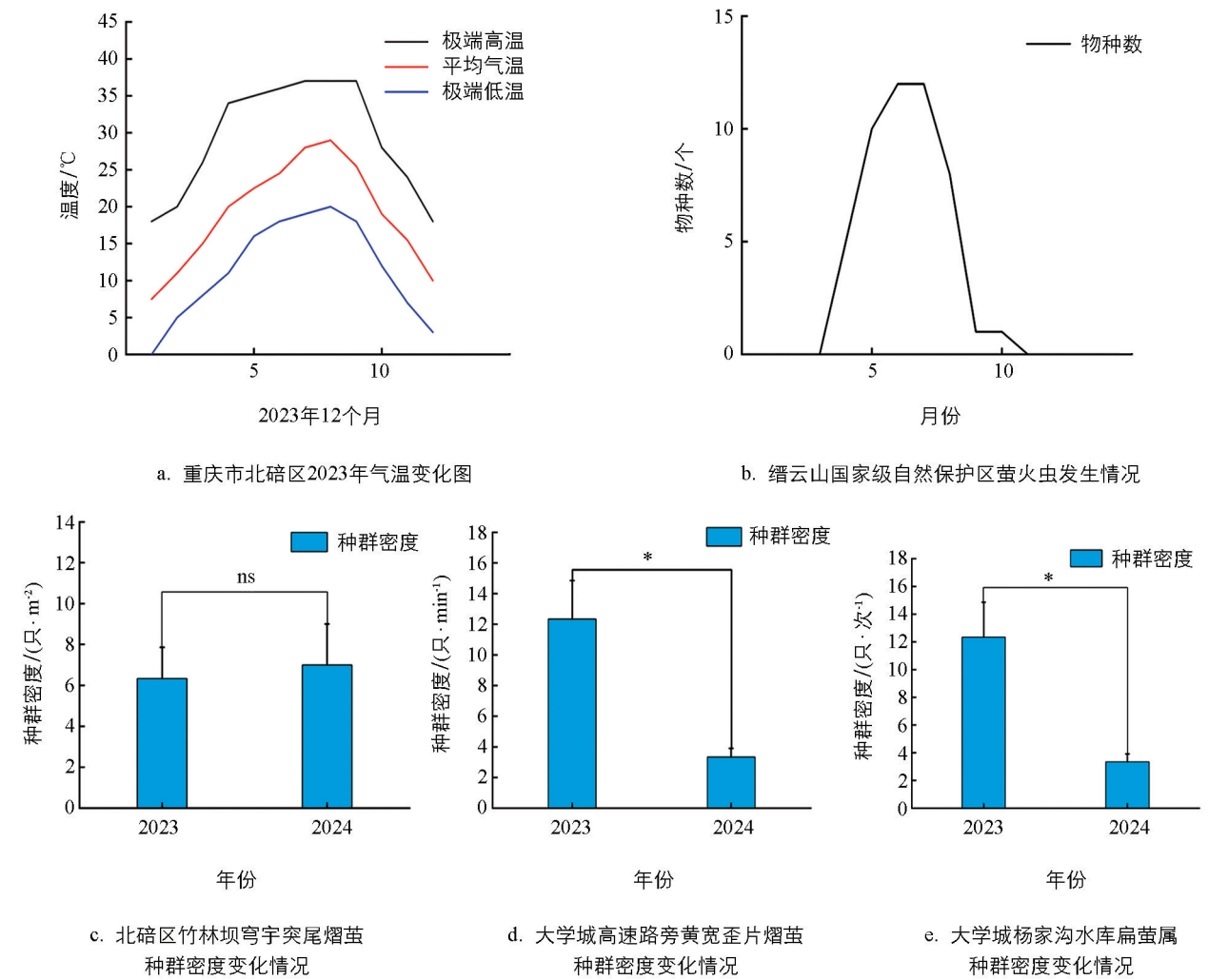
2.2 缙云山萤火虫栖息地分析

由图 6a、6b 可知, 萤火虫的发生情况随温度而变化, 主要集中在夏季 5—8 月, 6—7 月达到顶峰, 符合昆虫自然发生规律; 1—3 月暂未发现有萤火虫活动迹象, 可能与温度过低有关。

图 6c 显示, 北碚区竹林坝穹宇突尾熠萤的种群密度两年间无显著变化, 主要是该区域人迹罕至, 一般不会受到人类活动干扰, 环境比较原生态, 因此种群密度基本不变。

图 6d 显示, 大学城高速路旁黄宽歪片熠萤 2024 年种群密度显著低于 2023 年($p<0.04$), 主要是因耕地行为(除草、施肥)破坏了草丛栖息地所致。

图 6e 显示, 大学城杨家沟水库扁萤属种群密度 2024 年大幅度降低, 同样是因为耕地行为导致了树林和枯叶层被破坏, 幼虫栖息地受损。



* 表示 $p<0.05$ 水平差异具有统计学意义, ns 表示不具有统计学意义。

图 6 栖息地数据分析图

2.3 区系分布及分析

由表 2、表 3 可知, 在中国动物地理区系分布中, 重庆市缙云山国家级自然保护区萤火虫共有 5 种分布型, 其中双区型 2 种占比 27.3%, 三区型 2 种占比 63.6%, 四区型 1 种占比 9.1%, 由此可见三区型的种类最多。华中区、华南区和西南区占比较高, 其中华中区占比较高是因为在中国地理区系划分中重庆属于华中区; 华南区占比也较高, 主要是缙云山云雾缭绕, 相对湿度较大与华南区相似; 西南区占比也较高是因为重庆的地理位置与西南区接壤所致。在跨区型分布中, 缙云山萤火虫主要是跨西南—华中—华南, 造成这样的结果主要与缙云山独特的地理位置相关。此外, 由于该区域存在一未知种, 因此本文纳入区系分析的共有 11 个物种。

表 2 重庆市缙云山国家级自然保护区萤火虫在中国动物地理区系的分布							
物种	蒙新区	青藏区	东北区	华北区	华中区	华南区	西南区
禄劝扁萤 <i>Lamprigera luquanensis</i>					✓		✓
台湾窗萤 <i>Pyrocoelia analis</i>			✓		✓	✓	✓
卵翅窗萤 <i>Pyrocoelia amplissima</i>					✓	✓	✓
大胸窗萤 <i>Pyrocoelia pectoralis</i>				✓		✓	✓
雷氏萤 <i>Aquatica leii</i>					✓	✓	
黄缘萤 <i>Aquatica ficta</i>					✓	✓	✓
黄宽歪片熠萤 <i>Asymmetricata circumdata</i>					✓	✓	✓
穹宇萤 <i>Pygoluciola qingyu</i>					✓	✓	✓
条背萤 <i>Sclerotia substriata</i>					✓	✓	
端黑棘手萤 <i>Abscondita chinensis</i>					✓	✓	✓
边褐棘手萤 <i>Abscondita terminalis</i>					✓	✓	✓

表 3 重庆市缙云山国家级自然保护区萤火虫在中国动物地理区系划分中的区系型及比例			
分布型	中国动物地理区系分布情况	物种数	比例/%
双区型	西南—华中	1	9.1
	华南—华中	2	18.2
三区型	西南—华南—华中	6	54.5
	西南—华南—华北	1	9.1
四区型	西南—华南—华中—东北	1	9.1
合计		11	100

由表 4、表 5 可知，在世界动物地理区系分析中，重庆市缙云山国家级自然保护区萤火虫共有两种分布型，其中单区型东洋界占比 63.6%，双区型东洋界—古北界占比 36.4%。重庆市地处东洋界向古北界过渡地带，因此主要以东洋界为主，同时含有古北界。由于该区域存在一未知种，因此本文纳入区系分析的共有 11 个物种。

表 4 重庆市缙云山国家自然保护区萤火虫在世界动物地理区系的分布						
物种	澳洲界	非洲界	新热带界	新北界	东洋界	古北界
禄劝扁萤 <i>Lamprigera luquanensis</i>					✓	
台湾窗萤 <i>Pyrocoelia analis</i>					✓	✓
卵翅窗萤 <i>Pyrocoelia amplissima</i>					✓	
大胸窗萤 <i>Pyrocoelia pectoralis</i>					✓	✓
雷氏萤 <i>Aquatica leii</i>					✓	
黄缘萤 <i>Aquatica ficta</i>					✓	
黄宽歪片熠萤 <i>Asymmetricata circumdata</i>					✓	✓
穹宇突尾熠萤 <i>Pygoluciola qingyu</i>					✓	
条背硬萤 <i>Sclerotia substriata</i>					✓	✓
端黑棘手萤 <i>Abscondita chinensis</i>					✓	
边褐棘手萤 <i>Abscondita terminalis</i>					✓	

表 5 重庆市缙云山国家级自然保护区萤火虫在世界动物地理区系划分中的区系型及比例

分布型	世界动物地理区系分布情况	物种数	比例/%
单区型	东洋界	7	63.64
双区型	东洋界—古北界	4	36.36
合计		11	100

3 讨论与结论

本文较为系统地调查了重庆市缙云山国家级自然保护区的萤火虫资源, 共有萤科 2 亚科 7 属 12 种, 主要分布在核心区周边, 延展区域有零散分布。该结果为了解我国萤火虫资源提供了基础数据。

调查发现, 重庆市缙云山国家级自然保护区有多个黄宽歪片熠萤聚集地, 其分布的生境类型多样, 适应性强, 是该区域优势物种, 可就地保育和开发。此外, 该物种耐高温能力较强(可达 40 ℃), 可用于炎热地区夜间景观打造。

重庆市缙云山国家级自然保护区湿地生境物种丰富, 适合萤火虫生存, 对野外复育及生态景观打造具有重要的参考价值。人类活动对萤火虫种群密度影响显著, 包括但不限于树木砍伐、杂草清除、化肥使用等因素, 因此后期保育和开发工作应格外注意。

重庆市缙云山国家级自然保护区萤火虫的中国动物地理区系分析及世界动物地理区系分析, 为整个萤科和雌光萤科的动物地理区系分析提供了基础数据。

参考文献:

[1] 陈斌, 曹倍荣, 闫振天. 萤火虫的分类、生物学特性及保护和利用 [J]. 大学科普, 2020, 14(3): 34-37.

[2] 曹倍荣. 中国萤科和雌光萤科昆虫常见种的分类及雷氏萤 *Aquatica leii* 饲养技术研究 [D]. 重庆: 重庆师范大学, 2022.

[3] MARTIN G J, STANGER K F, BRANHAM M A, et al. Higher-Level Phylogeny and Reclassification of Lampyridae (Coleoptera: Elateroidea) [J]. Insect Systematics and Diversity, 2019, 3(6): 1-15.

[4] FERREIRA V S, KELLER O, BRANHAM M A, et al. Molecular Data Support the Placement of the Enigmatic Cheguevaria as a Subfamily of Lampyridae (Insecta: Coleoptera) [J]. Zoological Journal of the Linnean Society, 2019, 187(4): 1253-1258.

[5] FERREIRA V S, KELLER O, BRANHAM M A. Multilocus Phylogeny Support the Nonbioluminescent Firefly Chespirito as a New Subfamily in the Lampyridae (Coleoptera: Elateroidea) [J]. Insect Systematics and Diversity, 2020, 4(6): 2.

[6] 何健镭, 朱建昇. 台湾赏萤地图 [M]. 中国台北: 晨星出版, 2002.

[7] 李学燕. 中国萤火虫的系统分类与进化研究 [D]. 昆明: 中国科学院昆明动物研究所, 2005.

[8] 付新华. 中国萤火虫生态图鉴 [M]. 北京: 商务印书馆, 2014.

[9] 曹倍荣, 闫振天, 陈斌. 中国萤科和雌光萤科昆虫名录 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2021, 38(5): 21-36.

[10] ZHU C Q, XU X D, ZHEN Y. Two New Species of *Pyrocoelia* Gorham (Coleoptera: Lampyridae) from Southwest China [J]. Zootaxa, 2022, 5162(2): 173-182.

[11] WANG C B, KUNDRATA R. Studies on the Rhagophthalmidae (Coleoptera) from China, part II. Three new species of *Diplocladon* Gorham, 1883 [J]. Zootaxa, 2024, 5528(1): 164-183.

[12] 陈斌, 李廷景, 何正波. 重庆市昆虫 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[13] 闫振天, 卢明娟, 李廷景, 等. 重庆缙云山国家级自然保护区蝴蝶种类调查和区系分析 [J]. 生态与农村环境学报,

- 2021, 37(2): 194-200.
- [14] 刘艳, 乔光军. 缙云山国家级自然保护区不同生境下苔藓植物持水能力研究 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2016, 33(4): 150-153.
- [15] HE J R. Occurred Fluctuation, Distribution and Habitat Characters of the Firefly, *Pyrocoelia analis* [J]. Formosan Entomologist, 2004, 24(2): 117-128.
- [16] LI T J, CHEN B. The Taxonomic Study of the Genus *Apodynerus* Giordani Soika (Hymenoptera: Vespidae: Eumeninae) from China, with Descriptions of Two New Species [J]. Entomotaxonomia, 2016, 38(2): 143-155.
- [17] BALLANTYNE L A, LAMBKIN C L, HO J Z, et al. The Luciolinae of S. E. Asia and the Australopacific Region: A Revisionary Checklist (Coleoptera: Lampyridae) Including Description of Three New Genera and 13 New Species [J]. Zootaxa, 2019, 4687(1): 1-174.
- [18] DONG Z W, YIU V, LIU G C, et al. Three New Species of *Lamprigera* Motschulsky (Coleoptera, Lampyridae) from China, with Notes on Known Species [J]. Zootaxa, 2021, 4950(3): 441-468.
- [19] 曹倍荣, 卢明娟, 闫振天, 等. 雷氏萤和金边窗萤的生物学习性及饲养技术研究 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2022, 39(4): 36-44.
- [20] BALLANTYNE L A, LAMBKIN C L, LUAN Xin, et al. Further Studies on South Eastern Asian Luciolinae: 1. *Sclerotia* Ballantyne, a New Genus of Fireflies with Back Swimming Larvae 2. *Triangulara* Pimpasalee, a New Genus from Thailand (Coleoptera: Lampyridae) [J]. Zootaxa, 2016, 4170(2): 201-249.
- [21] BALLANTYNE L A. Luciline Morphology, Taxonomy and Behaviour: A Reappraisal (Coleoptera, Lampyridae) [J]. Transactions of the American Entomological Society, 1987, 113(2): 171-188.
- [22] BALLANTYNE L A, LAMBKIN C L. Systematics of Indo-Pacific Fireflies with a Redefinition of Australasian *Atyphella* Olliff, Madagascan *Photuroluciola* Pic, and Description of Seven New Genera from the Luciolinae (Coleoptera: Lampyridae) [J]. Zootaxa, 2009, 1997(1): 1-188.
- [23] BALLANTYNE L A, LAMBKIN C L. Systematics and Phylogenetics of Indo-Pacific Luciolinae Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) and the Description of New Genera [J]. Zootaxa, 2013, 3653(1): 1-162.
- [24] FU X H, BALLANTYNE L A, LAMBKIN C L. The External Larval Morphology of *Aquatic* and Terrestrial Luciolinae Fireflies (Coleoptera: Lampyridae) [J]. Zootaxa, 2012, 3405(1): 1-34.
- [25] FU X H, BALLANTYNE L A. Taxonomy and Behaviour of Luciline Fireflies (Coleoptera: Lampyridae: Luciolinae) with Redefinition and New Species of *Pygoluciola* Wittmer from China's Mainland and Review of *Luciola* LaPorte [J]. Zootaxa, 2008, 1733(1): 1-44.
- [26] FU X H, BALLANTYNE L. *Luciola lei* sp. nov., a New Species of *Aquatica* Firefly (Coleoptera: Lampyridae: Luciolinae) from China's Mainland [J]. The Canadian Entomologist, 2006, 138(3): 339-347.
- [27] FU X H, BALLANTYNE L A, LAMBKIN C L. *Aquatica* Gen. nov. from Mainland China with a Description of *Aquatica wuhana* sp. nov. (Coleoptera: Lampyridae: Luciolinae) [J]. Zootaxa, 2010, 2530(1): 1-18.
- [28] 吴健卓. 云南扁萤 *Lampyrigera yunnana* (Fairmaire)生物学及捕食功能研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.