

为害灵芝新害虫——白头白果蝇

*Leucophenga albiceps**蒲 潇^{1,2**} 赵小红^{1,2} 杨学圳³ 宋 丹⁴ 肖 波^{1,2} 胡开治^{1,2} 雷美艳^{1,2***}

(1. 重庆市药物种植研究所, 重庆市道地药材规范化生产工程技术研究中心, 南川 408435; 2. 重庆市康泽科技开发有限责任公司, 璧山 402760; 3. 四川省食用菌研究所, 成都 610066; 4. 重庆市生态环境科学研究院, 重庆 401147)

摘 要 【目的】首次报道一种为害灵芝 *Ganoderma lucidum* 的新害虫——白头白果蝇 *Leucophenga albiceps*。明确其为害情况、形态特征及分子鉴定依据, 助力林下灵芝栽培产业健康发展。【方法】采用五点取样法调查该害虫在林下灵芝栽培过程中的为害情况。在显微镜下对该害虫进行形态学观察和解剖, 描述其外观形态及雄性外生殖器特征。利用 DNA 条形码技术扩增该虫线粒体 DNA 细胞色素 C 氧化酶亚基 I (Mitochondrial DNA cytochrome oxidase subunit I, mtDNA-CO I) 基因进行分子鉴定, 并构建系统发育树。【结果】该害虫春季开始活动, 7-8 月进入为害盛期, 一年发生数代, 世代重叠严重。一般在新开辟的林地受害较轻, 第二年开始逐年加重, 是重庆地区林下灵芝栽培过程中影响灵芝产量和质量的主要虫害。该害虫外观形态及雄性生殖器特征与白果蝇属 *Leucophenga* 昆虫相符, 分子鉴定结果显示该虫与白头白果蝇 *L. albiceps* CO I 序列 (登录号: KP697095.1) 的相似度达 97.5%, 在系统发育树上两者聚为一支, 种内平均遗传距离为 0.012, 确定其为白头白果蝇。【结论】本研究报道的白头白果蝇为重庆新纪录种, 也是首次发现其在重庆林下灵芝栽培过程中为害严重, 此研究结果为深入研究其发生规律和防控技术奠定了基础。

关键词 白头白果蝇; 灵芝; 形态特征; 分子鉴定

Leucophenga albiceps, a new pest of *Ganoderma lucidum*PU Xiao^{1,2**} ZHAO Xiao-Hong^{1,2} YANG Xue-Zhen³ SONG Dan⁴
XIAO Bo^{1,2} HU Kai-Zhi^{1,2} LEI Mei-Yan^{1,2***}

(1. Chongqing Institute of Medicinal Plant Cultivation, Chongqing Engineering Technology Research Center for Standardized Production of Authentic Medicinal Materials, Chongqing 408435, China; 2. Chongqing Kangze Technology Development Co., Ltd., Bishan 402760, China; 3. Sichuan Institute of Edible Fung, Chengdu 610066, China; 4. Chongqing Academy of Environmental Science, Chongqing 401147, China)

Abstract [Aim] To present the first report of a new pest of *Ganoderma lucidum*, *Leucophenga albiceps*. The objectives include clarifying its damage patterns, morphological characteristics, and molecular identification to promote the healthy development of *G. lucidum* cultivation. [Methods] The five-point sampling method was used to investigate the damage caused by this pest. Genomic DNA was extracted from specimens collected in the field, and the sequences of the mitochondrial cytochrome oxidase subunit I (CO I) were amplified for molecular identification. The neighbor-joining method was used to construct phylogenetic trees. [Results] The survey results indicate that the pest appears in spring and causes serious damage to *G. lucidum* in July and August. Multiple generations are produced in a year with significant overlap between generations. Damage in recently invaded woodlands was slight, but became serious in the second year; *L. albiceps* has become the main pest affecting the yield and quality of *G. lucidum* in the Chongqing area. The morphology and characteristics of the male

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划项目 (No.2021YFD1601000); 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目 (No.CSTB2022TIAD-KPX0120); 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目 (No.cstc2021jscx-gksbX0018)

**第一作者 First author, E-mail: puxiao9898@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: Leimeiyang1985@126.com

收稿日期 Received: 2024-05-13; 接受日期 Accepted: 2024-07-06

genitalia were consistent with those of other members of the genus *Leucophenga*, and the similarity of the obtained CO I sequence (accession number: KP697095.1) to that published for *L. albiceps* reached 97.5%. The average genetic distance within the species was 0.012. Therefore, both morphological and phylogenetic results indicate that the pest causing damage to *G. lucidum* was *L. albiceps*. **[Conclusion]** *L. albiceps* is a newly recorded pest in Chongqing that has not previously been known to damage *G. lucidum*. These results lay the groundwork for in-depth studies on the occurrence, prevention, and control of this pest.

Key words *Leucophenga albiceps*; *Ganoderma lucidum*; morphological characteristics; molecular identification

灵芝 *Ganoderma lucidum* 是我国传统名贵中药材, 具有极高的营养价值和保健价值, 素有“仙草”之美誉。近些年来科学研究证明, 灵芝不仅具有补气安神、止咳平喘、抗衰老等多种功效(林志彬, 2024; 张玉坤等, 2024), 还具有调节免疫力(Xie *et al.*, 2023)、抗癌(Jin *et al.*, 2016)、降血脂(沈若茗等, 2024)等药理活性。2023 年国家卫健委颁布的“党参等 9 种新增按照传统既是食品又是中药材的物质目录”将灵芝纳入其中(中华人民共和国国家健康委员会, 2023), 进一步促进了灵芝产业的发展。近年来, 响应国家“不与粮争田, 不与林争地”、“向森林要粮食”等政策号召, 灵芝栽培方式也从单一大棚栽培发展到林下生态种植(王恬恬等, 2024)。林下灵芝栽培不仅解决了林下闲置土地资源浪费的问题, 而且采用仿野生生态栽培技术, 产出的灵芝更天然、更绿色、更优质, 优势显著。但是森林开放、复杂的环境有利于灵芝生长的同时也为害虫的繁殖和生长提供了有利条件, 灵芝栽培过程中常见的害虫包括台湾斑谷蛾 *Morophaga formosana*(徐森锋等, 2022)、星狄夜蛾 *Diomea cremata*、黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus*(张维瑞等, 2024)、狭头层菌管蓟马 *Pygmaeothrips angusticeps*(唐良德等, 2019)等。

近年来, 作者在重庆林下灵芝栽培基地调查过程中发现一种未报道过的害虫为害严重。该害虫的幼虫以灵芝子实体为食, 影响灵芝正常生长发育, 取食后的碎屑及排泄物形成蓬松的颗粒状覆盖物堆积在子实体表面, 严重影响灵芝的外观和商品价值。本研究通过田间调查明确该害虫的发生规律及为害特征, 综合形态鉴定及 DNA 分子鉴定, 阐明该害虫的分类地位为该虫的识别和科学防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 为害情况调查

2022 和 2023 年在重庆市涪陵区大顺镇林下灵芝栽培基地(29°30'54"N, 107°1'31"E, 海拔 688.78 m), 于 5 月灵芝栽种后至 9 月采收前观察灵芝生长情况及虫害发生规律。在采收时选取 3 块标准样地, 采用五点取样法, 每点取周围 30 株灵芝, 逐株解剖调查, 统计正常灵芝及受害灵芝数量, 按以下公式计算虫害率。

虫害率 = (受害灵芝数/灵芝总数) × 100%。

1.2 样品采集

2023 年在林下灵芝栽培基地采集该害虫为害严重的灵芝子实体, 于实验室解剖为害部位得到其幼虫和蛹。将其他受害严重的灵芝连同菌包整株迁入室内, 用网室隔离进行条件可控的室内培养。设置室内温度为 26 °C, 空气相对湿度 60%, 待其羽化, 5 d 左右可见成虫。收集用于形态鉴定的样品保存于 75%乙醇中, 用于分子鉴定的样品保存于 100%乙醇中, 置于 - 20 °C 冰箱中保存备用。

1.3 形态观察

在数码显微镜(日本 Leica DVM6)下观察幼虫、蛹、成虫形态特征, 并进行拍照。外生殖器解剖参考徐森锋等(2022)的方法进行, 用解剖针剔取雄虫腹部放入 10%氢氧化钾溶液, 加热煮沸 3-4 min 去掉腹部所有肌肉组织, 然后用 95%乙醇小心冲洗, 放于载玻片上整形, 滴 1 滴甘油, 在显微镜下观察并拍照。

1.4 分子鉴定

1.4.1 DNA 提取、PCR 扩增及测序 取幼虫、

蛹、成虫, 每个样本由单头虫体构成, 每个虫态设置 3 个独立生物学重复。使用昆虫 DNA 提取试剂盒(北京美基美生物科技有限公司)分别提取 DNA, 提取步骤参照该试剂盒的方法, 将提取获得的 DNA 置于 -20 ℃ 条件下保存备用。

PCR 扩增其线粒体 CO I 基因序列, 引物为 LCO1490: 5'-GGTCAACAAATCATAAAGATA-TTGG-3' 和 HCO2198: 5'-TAAACTTCAGGGT-GACCAAAAATCA-3' (Folmer *et al.*, 1994), 反应条件: 95 ℃ 预变性 3 min; 94 ℃ 变性 40 s, 54 ℃ 退火 45 s, 72 ℃ 延伸 1 min, 35 个循环; 循环结束后 72 ℃ 延伸 5 min; 产物于 4 ℃ 条件下保存备用。电泳检测 PCR 产物, 将产物在 100 V 条件下经 1% 琼脂糖凝胶电泳检测, 将检测结果为单一、明亮条带的产物送擎科生物科技股份有限公司进行测序。

1.4.2 数据分析 测序获得该害虫幼虫、蛹、成虫各 3 条 CO I 基因序列, 将测序结果通过 BLAST 与 GenBank 中的序列进行同源性比对, 下载相似度较高的 5 个白果蝇近缘种及外群共 12 条 CO I 序列用于系统发育分析(表 1)。利用 MEGA 11.0 软件, 以黑腹花果蝇 *Scaptodrosophila melanogaster* 为外群, 将本实验提取得到的 9 条 CO I 序列及下载的 12 条相似度较高的序列基于

Kimura-2-parameter (K2P) 参数模型计算遗传距离, 采用邻接法 (Neighbor-joining method, NJ) 构建系统发育树, 各进化枝进行 1 000 次置信度检验。同时将实验获得的序列上传至 NCBI 数据库获得对应的序列号。

2 结果与分析

2.1 为害情况

调查发现, 重庆林下灵芝栽培基地内该害虫的蛹在杂草、土表和腐烂物中越冬, 次年春季温度上升至 15 ℃ 时开始羽化。6 月中下旬大量蛹羽化成成虫, 7-8 月份进入危害盛期, 一年发生数代, 世代重叠严重。该害虫的幼虫通常从菌柄或菌盖表面侵入灵芝子实体内取食, 被侵害的子实体内部形成直径约为 0.5-1.0 mm 蛀空的菌质隧道(图 1: A)。幼虫发育至末龄后, 于子实体蛀道内化蛹(图 1: B)。取食后的碎屑和粪便呈淡黄色颗粒状聚合物堆积在一起, 覆盖于子实体表面, 严重影响灵芝的外观和商品价值(图 1: C, D)。统计结果显示, 在新开辟的林地虫害率为 14.83%±5.70%, 第 2 年虫害率达 62.75%±6.91%, 并呈逐年上升的趋势。

2.2 形态特征

整体: 体型较小, 雌性一般体长 4-5 mm 左右, 雄性体长较雌性小。间额、中胸背板以及腹部背板大部分覆被银色粉被(图 2: A)。头部: 复眼红色或暗红色, 单眼三角区浅褐色, 单眼鬃之间有由细至粗的刚毛排列, 间额黄褐色至浅褐色, 口上片黄褐色, 下颚须深黄色(图 2: A)。胸部: 中胸背板黄褐色至黑棕色, 有两条深褐色纵条纹, 中胸背毛为不规则的 10-12 列(图 2: B)。中胸侧板为浅褐色, 胸下部有明显凸起(图 2: C)。腹部: 覆被银色粉被。腹部背板大部分褐至黑色, 第 2 背板通常近侧面前缘深色, 第 3-5 背板通常近中部前缘及近侧面前缘黄色(图 2: D)。翅透明无明显斑纹, 第 2、3 合径脉几乎呈直线, 在前缘脉(第 2、3 合径脉与第 4、5 合径脉之间)远端腹面具有 5-8 个钉状棘刺(图 2: E)。雄性外生殖器: 生殖器背板两侧近后缘及腹缘拐角处具有若干刚毛, 阳基内骨通常发达(图 2: F-H)。

表 1 系统进化分析中所引用的其他序列信息

Table 1 Information of reference sequences for phylogenetic analysis

序号 No.	物种 Species	GenBank 登录号 GenBank accession no.
1	白头白果蝇 <i>L. albiceps</i>	KP697095.1
2	白头白果蝇 <i>L. albiceps</i>	KP697092.1
3	白头白果蝇 <i>L. albiceps</i>	KP697091.1
4	黑斑白果蝇 <i>L. maculate</i>	KP697192.1
5	黑斑白果蝇 <i>L. maculate</i>	KP697205.1
6	飒拉白果蝇 <i>L. salatigae</i>	KP697277.1
7	飒拉白果蝇 <i>L. salatigae</i>	KP697278.1
8	裂叶白果蝇 <i>L. rimbickana</i>	KP697261.1
9	裂叶白果蝇 <i>L. rimbickana</i>	KP697265.1
10	山纹白果蝇 <i>L. concilia</i>	KP697143.1
11	山纹白果蝇 <i>L. concilia</i>	KP697137.1
12	黑腹花果蝇 <i>S. melanogaster</i>	KR070823.1

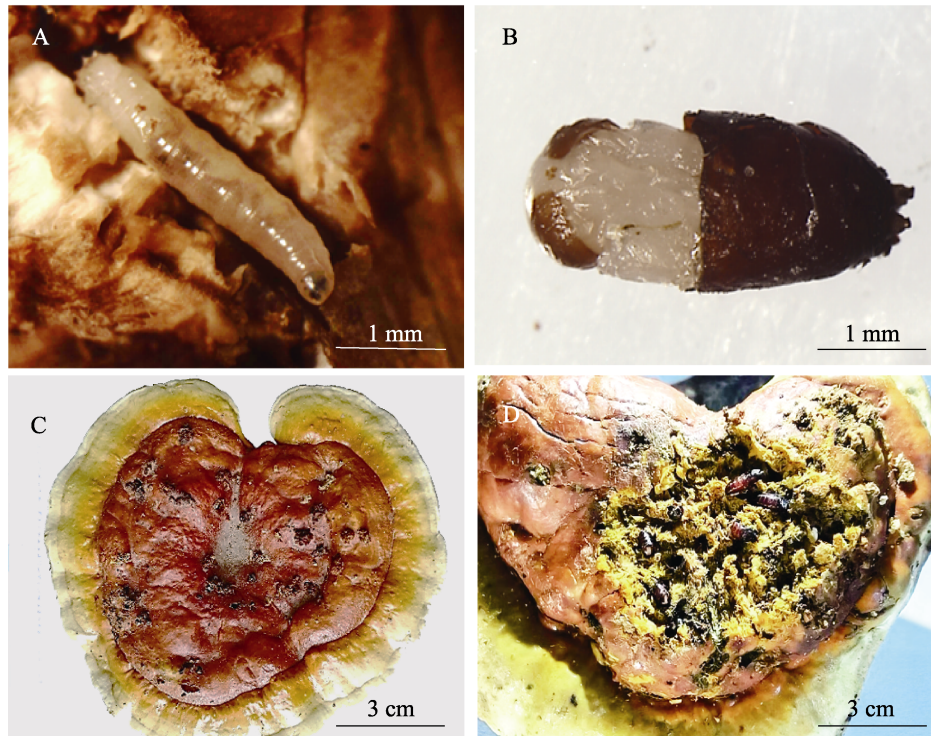


图 1 待鉴定害虫的幼虫、蛹及为害状

Fig. 1 Larva, pupa and damage characteristics of the unidentified pest

A. 幼虫; B. 蛹 (头部及胸部的蛹壳被剥离); C 和 D. 被啃食后的灵芝。

A. Larva; B. Pupa (the puparial overlying cephalic and thoracic segments was removed);

C and D: *G. lucidum* damaged by the unidentified pest.

2.3 系统发育分析

测序获得该害虫的幼虫、蛹、成虫各 3 条 CO I 基因序列, 经拼接、剪除正反向引物序列后, 长度均为 658 bp, 序列相似度 99.95%, 碱基组成为 A (29.4%)、T (40.0%)、C (14.2%) 和 G (16.4%), 具有明显得 AT 倾向性。在 GenBank 中进行 Blast 比对, 发现其与 *L. albiceps* (登录号: KP 697095.1) 基因序列相似性为 97.5%。遗传距离分析表明, 种内平均遗传距离为 0.012, 与白果蝇属的其他种间遗传距离为 0.045-0.068 (表 2)。序列上传至 NCBI 数据库, 登录号为 PP542091-542093。基于 CO I 基因序列构建系统发育树, 该害虫与白头白果蝇聚在同一分支, 置信度为 93% (图 3)。由于对白果蝇属昆虫的研究报道较少, 相关研究主要由陈宏伟专家团队发布 (Chen and Aotsuka, 2003; Huang and Chen, 2016), 本研究主要参照其上传至公共数据库的基因片断进行比对分析, 并结合黄嘉

(2019) 对其形态的描述, 最终鉴定该害虫为白头白果蝇 *L. albiceps*。

3 讨论

本研究首次报道了一种为害灵芝的新害虫——白头白果蝇 *L. albiceps*, 描述了其形态特征及为害情况, 并提交了其线粒体 CO I 基因序列 (登录号: PP542091-542093)。该害虫为果蝇科 *Drosophilidae* 冠果蝇亚科 *Steganinae* 白果蝇属 *Leucophenga*。根据中国生物物种名录 2020 版记载, 它在我国湖南、台湾、广东、海南、云南 5 个省份有分布 (The Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences, 2020), 为重庆地区新纪录种, 此前尚未有关其为害的相关报道, 本文首次发现了灵芝为其寄主。

果蝇科中绝大多数以落果、烂果或发酵物为食, 对健康作物危害较小。但也不乏斑翅果蝇 *Drosophila suzukii*、黑腹果蝇 *Drosophila melanogaste*

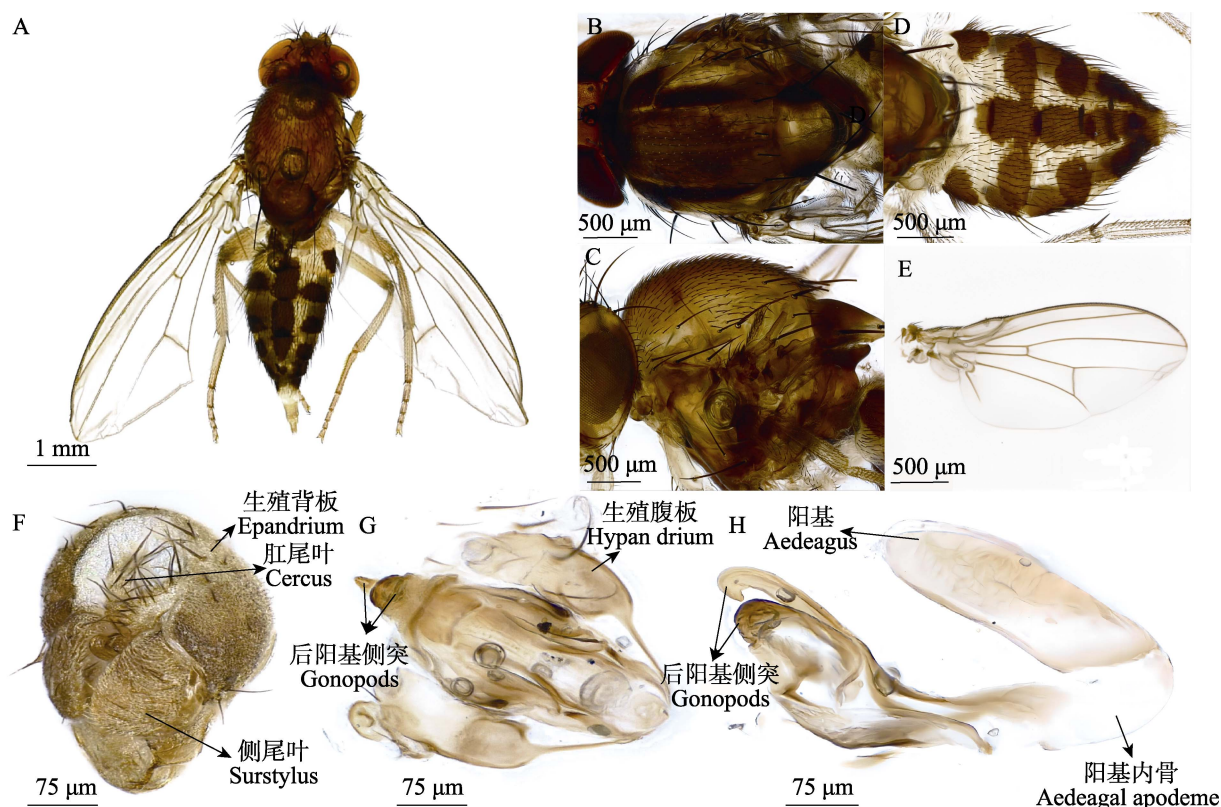


图 2 待鉴定害虫的形态特征

Fig. 2 Morphological characteristics of the unidentified pest

A. 成虫整体特征; B. 胸部背板特征; C. 胸部侧面特征; D. 腹部背板斑纹特征; E. 翅脉特征;

F. 雄性外生殖器外观; G. 生殖腹板和后阳基侧突; H. 阳茎、阳基内骨和后阳基侧突。

A. Adult; B. Dorsal views of thorax; C. Lateral views of thorax; D. Colour patterns of abdominal tergites; E. Ventral views of wing;

F. Male terminalia; G. Hypantrium and gonopods; H. Aedeagus, aedeagal apodeme and gonopods.

等为害严重的害虫, 它们将卵产于健康的果实内, 直接导致水果腐烂、产量下降。Cini 等(2012) 调查结果显示自 2008 年在美国加州发现斑翅果蝇后, 当地樱桃、蓝莓园果实被害率高达 80%, 直接造成至少 50 亿美元的损失。代晓彦等(2019) 报道黑腹果蝇、斑翅果蝇和叔白颜果蝇 *Drosophila triauraria* 直接导致山东省葡萄园减产 70% 以上。除了水果, 也有研究报道黑腹果蝇可为害毛木耳、黑木耳、平菇等多种食用菌(罗佳和庄秋林, 2007; 黄雪峰等, 2013), 其幼虫不仅取食菌丝和培养料, 造成料面发生水渍状腐烂, 还侵入子实体内, 导致菇柄、菇盖等腐烂。

观察发现, 白头白果蝇在健康的灵芝子实体表面产卵, 幼虫侵入子实体内钻蛀取食, 为害处呈孔洞、隧道, 并伴随大量碎屑及粪便堆积, 导致灵芝品质变劣, 为害严重时可造成子实体畸形残缺、灵芝孢子粉绝收, 严重影响灵芝产量和品

质。其初期为害特征与徐森锋等(2022) 报道的台湾斑谷蛾相似, 发生时期接近, 在羽化前极易混淆。但白头白果蝇幼虫虫体和虫粪聚合颗粒均较小, 数量多、繁殖快、在高温干旱条件下为害严重, 虫粪主要堆积在菌盖上表面, 严重影响其外观和产量; 台湾斑谷蛾幼虫虫体和虫粪颗粒较大, 羽化后在灵芝表面留下较大的孔洞, 在高温多雨环境下为害严重, 虫粪主要堆积在菌盖下表面。整体来看, 在重庆地区林下灵芝栽培过程中白头白果蝇是影响产量和品质的主要虫害, 严重制约林下灵芝栽培产业的发展, 需引起关注, 严格区分。由于果蝇体型小, 为害隐蔽性强且林下开放、复杂的生态环境也增加了其发生的概率和防控难度, 针对林下栽培的特点, 后续将深入调查研究白头白果蝇的发生规律及生物学特性, 进一步探索综合防治措施, 以期实现该虫的绿色防控。

表 2 21 个样本 CO I 序列的遗传距离
Table 2 Genetic distances of CO I sequences from 21 samples

序号 No.	样本 Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	成虫 1 Adult 1																					
2	成虫 2 Adult 2 0.000																					
3	成虫 3 Adult 3 0.000 0.000																					
4	幼虫 1 Larva 1 0.002 0.002 0.002																					
5	幼虫 2 Larva 2 0.002 0.002 0.002 0.000																					
6	幼虫 3 Larva 3 0.002 0.002 0.002 0.000 0.000																					
7	蛹 1 Pupa 1 0.000 0.000 0.000 0.002 0.002 0.002																					
8	蛹 2 Pupa 2 0.000 0.000 0.000 0.002 0.002 0.002 0.000																					
9	蛹 3 Pupa 3 0.000 0.000 0.000 0.002 0.002 0.002 0.000 0.000																					
10	白头白果蝇 <i>L. albiceps</i> KP697095.1	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
11	白头白果蝇 <i>L. albiceps</i> KP697092.1	0.025	0.025	0.025	0.025	0.026	0.026	0.026	0.025	0.025	0.025	0.006										
12	白头白果蝇 <i>L. albiceps</i> KP697091.1	0.029	0.029	0.029	0.031	0.031	0.031	0.029	0.029	0.029	0.029	0.023	0.023									
13	黑斑白果蝇 <i>L. maculata</i> KP697192.1	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.045	0.046	0.046	0.046	0.037	0.034	0.045	0.045								
14	黑斑白果蝇 <i>L. maculata</i> KP697205.1	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.045	0.046	0.046	0.046	0.037	0.034	0.045	0.000	0.000							
15	颚拉白果蝇 <i>L. salatigae</i> KP697277.1	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.045	0.046	0.046	0.046	0.043	0.037	0.039	0.034	0.034	0.034						

续表 2 (Table 2 continued)

序号 No.	样本 Samples	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
16	枫拉白果蝇 <i>L. salatigae</i> KP697278.1	0.046	0.046	0.046	0.045	0.045	0.045	0.046	0.046	0.046	0.043	0.037	0.039	0.034	0.034	0.000						
17	裂叶白果蝇 <i>L. rimbickana</i> KP697261.1	0.059	0.059	0.059	0.057	0.057	0.057	0.059	0.059	0.059	0.066	0.063	0.068	0.068	0.068	0.056	0.056					
18	裂叶白果蝇 <i>L. rimbickana</i> KP697265.1	0.059	0.059	0.059	0.057	0.057	0.057	0.059	0.059	0.059	0.066	0.063	0.068	0.068	0.068	0.056	0.056	0.000				
19	山纹白果蝇 <i>L. concilia</i> KP697143.1	0.068	0.068	0.068	0.066	0.066	0.066	0.068	0.068	0.068	0.068	0.065	0.066	0.066	0.066	0.057	0.057	0.037	0.037			
20	山纹白果蝇 <i>L. concilia</i> KP697137.1	0.060	0.060	0.060	0.059	0.059	0.059	0.060	0.060	0.060	0.065	0.062	0.063	0.063	0.063	0.060	0.060	0.032	0.032	0.020		
21	黑腹花果蝇 <i>S. melanogaster</i> KR070823.1	0.131	0.131	0.131	0.130	0.130	0.130	0.131	0.131	0.131	0.133	0.131	0.133	0.127	0.127	0.128	0.128	0.130	0.130	0.127	0.121	

图中数字 1、2 和 3 表示不同虫态的三 3 个生物学重复；其他数字表示相应序列的 GenBank 登录号。Numbers 1, 2, and 3 denote triplicate biological replicates of distinct developmental stages; all other numbers indicate their corresponding GenBank numbers.

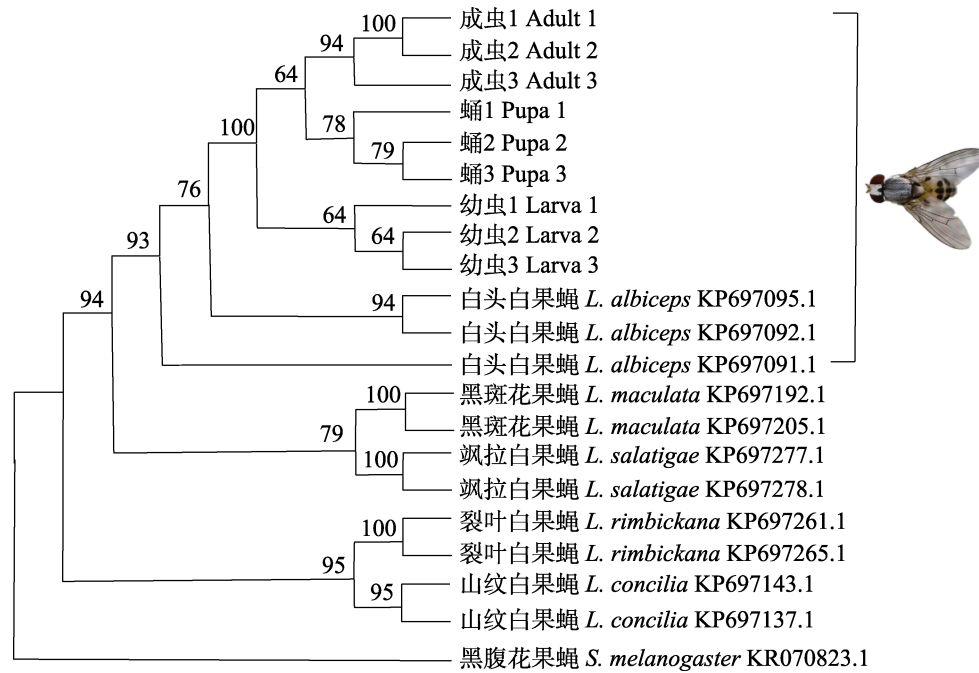


图3 基于CO I基因序列构建的系统发育树

Fig. 3 Neighbor-joining tree of CO I gene sequences

图中数字1、2和3表示不同虫态的3个生物学重复；其他数字表示相应序列的GenBank登录号。

Numbers 1, 2, and 3 denote triplicate biological replicates of distinct developmental stages; all other numbers indicate their corresponding GenBank numbers.

参考文献 (References)

- Cini A, Ioriatti C, Anfora G, 2012. A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65(1): 149–160.
- Chen HW, Aotsuka T, 2003. Survey of the genus *Leucophenga* (Diptera, Drosophilidae) from Iriomote-jima, Japan, with descriptions of three new species. *Canadian Entomologist*, 135(2): 143–158.
- Dai XY, Wu XY, Zhai YF, Liu S, Chen H, Shi HM, Liu J, Gao HH, 2019. Research progresses on occurrence and control of *Drosophila* in vineyard. *Journal of Biosafety*, 28(4): 237–242. [代晓彦, 吴新颖, 翟一凡, 刘莎, 陈浩, 史红梅, 刘洁, 高欢欢, 2019. 葡萄园果蝇的发生及综合防治研究进展. 生物安全学报, 28(4): 237–242.]
- Folmer O, Black M, Hoeh W, Lutz R, Vrijenhoek R, 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3(5): 294–299.
- Huang J, Chen HW, 2016. The genus *Leucophenga* (Diptera, Drosophilidae), part VI: The argentata species group from the East Asia, with morphological and molecular evidence. *Zootaxa*, 4161(2): 207–227.
- Huang J, 2019. Molecular phylogeny of *Steganinae* and systematic taxonomy of *Leucophenga* in the Oriental region. Doctor dissertation. Guangzhou: South China Agricultural University. [黄嘉, 2019. 冠果蝇亚科分子系统发育及东洋区白果蝇属系统分类学. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学.]
- Huang XF, Wu MX, Luo J, Wu ZS, Fan QH, 2013. Bioactivities of four botanical pesticides against an important pest of mushroom-*Drosophila melanogaster*. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 34(4): 747–750. [黄雪峰, 吴梅香, 罗佳, 吴宗晟, 范青海, 2013. 4种植物源农药对食用菌重要害虫黑腹果蝇的生物活性测定. 热带作物学报, 34(4): 747–750.]
- Jin XZ, Ruiz Beguerie J, Sze DMY, Chan GCF, 2016. *Ganoderma lucidum* (Reishi mushroom) for cancer treatment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 4(4): CD007731.
- Luo J, Zhuang QL, 2007. The species, damage and control of *Diptera* pests in edible fungi in Fujian Province. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 36(3): 237–240. [罗佳, 庄秋林, 2007. 福建食用菌双翅目害虫的种类、为害及防治. 福建农林大学学报(自然科学版), 36(3): 237–240.]

- Lin ZB, 2024. From prehistory to modern times—a brief developmental history of *Ganoderma* medicinal sciences in China. *Journal of Fungal Research*, 22(1): 1–8. [林志彬, 2024. 从史前到现代——我国灵芝医药学发展简史. 菌物研究, 22(1): 1–8.]
- National Health Commission of the People's Republic of China, 2023. Catalog of 9 New Substances, Including Dangshen, that are Traditionally Used as Both food and Chinese Herbal Medicine. Beijing: Food Safety Standards and Monitoring and Evaluation Division (2023, No.9). [中华人民共和国国家健康委员会, 2023. 党参等 9 种新增按照传统既是食品又是中药材的物质目录. 北京: 食品安全标准与监测评估司(2023 年第 9 号).]
- Shen RM, Lu JY, Zhang Y, Wei H, Lu L, 2024. Hypolipidemic functions of edible and medicinal mushrooms: A review. *Mycosystema*, 43(8): 4–15. [沈若茗, 陆俊佑, 张煜, 魏华, 陆玲, 2024. 大型食药菌的降血脂功能研究进展. 菌物学报, 43(8): 4–15.]
- The Biodiversity Committee of Chinese Academy of Sciences, 2020. Catalogue of Life China: 2020 Annual Checklist, Beijing, China. 315–317.
- Tang LD, Xu L, Tian QH, 2019. *Pygmaeothrips angusticeps*-An important pest of *Ganoderma lucidum*. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 39(9): 1–2. [唐良德, 徐林, 田庆恒, 2019. 狭头层菌管蓟马——一种灵芝重要害虫. 热带农业科学, 39(9): 1–2.]
- Wang TT, XU JZ, Liu XH, 2024. Research progress on *Ganoderma* cultivation. *Journal of Fungal Research*, 22(1): 94–102. [王恬恬, 徐济责, 刘晓龙, 2024. 灵芝栽培研究进展. 菌物研究, 22(1): 94–102.]
- Xie J, Lin DM, Li J, Zhou TH, Lin SQ, Lin ZX, 2023. Effects of *Ganoderma lucidum* polysaccharide peptide ameliorating cyclophosphamide-induced immune dysfunctions based on metabolomics analysis. *Frontiers in Nutrition*, 25(10): 1179749.
- Xu MF, Liao YL, Lin W, Liu RS, 2022. An important pest of *Ganoderma sinense*-*Morophaga formosana*. *Acta Edulis Fungi*, 29(3): 95–100. [徐森锋, 廖永林, 林伟, 刘若思, 2022. 一种灵芝重要害虫——台湾斑谷蛾. 食用菌学报, 29(3): 95–100.]
- Zhang YK, Yao Y, Yang BX, 2024. Research progress on pharmacological effects of *Ganoderma* polysaccharides. *Journal of Fungal Research*, 22(1): 22–38. [张玉坤, 姚阳, 杨宝学, 2024. 灵芝多糖的药理学研究进展. 菌物研究, 22(1): 22–38.]
- Zhang WR, Liu SR, Chen AJ, Zhou XZ, Huang QH, Su GP, 2024. Main pest control techniques for understory cultivation of *Ganoderma lucidum*. *Contemporary Horticulture*, 47(3): 79–81. [张维瑞, 刘盛荣, 陈爱靖, 周修赵, 黄千慧, 苏贵平, 2024. 灵芝林下栽培主要害虫防治技术. 现代园艺, 47(3): 79–81.]