

doi:10.11937/bfyy.20164668

潜叶吉丁研究进展

肖丽芳^{1,2}, 戴小华², 王建国¹

(1. 江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045; 2. 赣南师范大学 生命与环境科学学院, 江西 赣州 341000)

摘要:潜叶吉丁属鞘翅目吉丁虫总科吉丁虫科。该研究归纳总结了潜叶吉丁的主要类群及物种多样性; 分析了潜叶吉丁的生物学、生态学特征, 包括食性差异、与寄主植物关系、经济意义、种群动态和生活史等方面; 介绍了潜叶吉丁分子生物学的相关进展, 并进一步提出了问题和展望, 以期为预防和控制潜叶吉丁虫害提供参考依据。

关键词:潜叶吉丁; 生物学; 寄主植物; 多样性; 分子生物学

中图分类号:S 436.612.2⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)15-0162-06

吉丁属鞘翅目(Coleoptera)多食亚目(Polyphaga)吉丁虫总科(Buprestoidea), 为世界性分布^[1], 我国吉丁主要分布于华南区、西南区和华中区, 东北区与青藏区较少; 总体而言, 南方种类较北方种类更为丰富^[2]。全世界约有吉丁1.5万种, 隶属7个亚科51族519属^[1], 我国约有640种^[2]。在华东地区, 吉丁危害各种林木果树高达103种, 给农林业生产造成很大损失^[3]。

吉丁为植食性昆虫, 主要分为钻蛀型、食根型及潜叶型: 钻蛀型吉丁通常体型较大, 部分种体长可达7 cm, 甚至10 cm, 幼虫在树木枝干木质部或皮下内筑穴; 食根型吉丁主要集中在土吉丁亚科中, 体型偏大, 约十几毫米至几厘米, 其幼虫生活于土壤中, 以灌木和草本植物的根部为食^[4]; 而潜

叶型吉丁体型较小, 通常仅有2~7 mm, 其幼虫潜食寄主植物的叶肉组织, 并形成不同形态的潜道^[4-7]。潜叶虫取食, 会影响叶片形态、化学成分、植物生理、生长和产量, 使叶片不对称, 并严重降低光合作用^[8-9]。例如, MAHESH等^[7]发现一种潜叶吉丁 *Aphanisticus aeneus* 为害甘蔗叶片, 并易受次生病虫影响, 造成较大经济损失; 陈殿元等^[10]发现吉林市榆叶梅叶片被樱潜叶吉丁(*Trachys niedita* Saunders)幼虫潜食, 被害株率达72%~95%, 严重影响园林风景及观赏价值。但国内对潜叶吉丁的系统研究相对较少, 现对潜叶吉丁主要类群及其物种多样性、生物学生态学及分子生物学等方面进行探讨, 以期为预防和控制潜叶吉丁虫害提供参考依据。

1 潜叶吉丁的主要类群及其物种多样性

据统计, 世界上已记录具潜叶行为的吉丁共2 604种, 占世界吉丁总数17.54%, 隶属于筒吉丁亚科(Polycestinae)、窄吉丁亚科(Agrilinae)等2亚科4族21属。其中, 中国潜叶吉丁共计3族8属98种, 占世界潜叶吉丁总数的3.76%, 约占中国吉丁的15.93%。各潜叶吉丁属中, 中国所占比最大的为拟宽头吉丁属(*Cylindromorphus*), 约占26.32%, 其次为圆吉丁属(*Paratrachys*), 占16.00%(表1)。

第一作者简介:肖丽芳(1992-), 女, 江西吉安人, 硕士研究生, 研究方向为潜叶昆虫和昆虫生态学。E-mail: xiaolifangjxau@163.com.

责任作者:王建国(1963-), 男, 江西丰城人, 博士, 教授, 现主要从事入侵生物分子生态等研究工作。E-mail: jgwang@jxau.edu.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31260116, 31360457, 31160380); 江西省教育厅资助项目(GJJ150410); 江西省青年科学家培养对象计划资助项目(20133BCB23026)。

收稿日期:2017-02-28

表 1
Table 1
Species diversity in different genera of leaf-mining jewel beetles

属 Genera	种数 Number of species			属 Genera	种数 Number of species		
	世界 World	中国 China	中国所占比 Percentage of China/%		世界 World	中国 China	中国所占比 Percentage of China/%
<i>Anthaxomorphus</i>	25	0	0.00	<i>Lius</i>	126	0	0.00
<i>Aphanisticus</i>	357	10	2.80	<i>Neotrachys</i>	32	0	0.00
<i>Brachys</i>	142	0	0.00	<i>Pachyschelus</i>	272	1	0.37
<i>Callimicra</i>	60	0	0.00	<i>Paracylindromorphus</i>	75	7	9.33
<i>Cylindromorphoides</i>	2	0	0.00	<i>Paratrachys</i>	25	4	16.00
<i>Cylindromorphus</i>	19	5	26.32	<i>Taphroceroides</i>	3	0	0.00
<i>Endelus</i>	126	10	7.94	<i>Taphrocerus</i>	174	0	0.00
<i>Germanica</i>	3	0	0.00	<i>Trachys</i>	620	43	6.94
<i>Habroloma</i>	285	18	6.32	<i>Xyroscelis</i>	2	0	0.00
<i>Hylaeogena</i>	99	0	0.00	<i>Zitella</i>	4	0	0.00
<i>Leiopleura</i>	153	0	0.00	总计	2 604	98	3.76

从亚科级阶元看,潜叶吉丁主要集中在窄吉丁亚科(Agrilinae),该亚科潜叶吉丁种数2 577种,占世界潜叶吉丁总数的98.96%,中国该亚科潜叶吉丁94种,占中国潜叶吉丁总数的95.92%。从族级阶元来看,潜吉丁族(Tracheini)种数最多,为1 966种,占世界潜叶吉丁总数的75.50%,Aphanisticini族次之,占23.46%,Xyroscelidini族种数最少为2种;而在中国的潜叶吉丁中,潜吉丁族种数达62种,占中国潜叶吉丁总数的63.27%,其次为Aphanisticini族,占中国潜叶吉丁总数的32.65%,而Xyroscelidini族在我国并无分布。从属级阶元来看,潜吉丁属(*Trachys*)种数最多,为620种,占世界潜叶吉丁总数的23.81%;其次为*Aphanisticus*属约占13.71%,种数超过200的有角吉丁属(*Habroloma*)和*Pachyschelus*属,种数在100~200种的有*Lius*、角眼吉丁属(*Endelus*)、*Brachys*、*Taphrocerus*及*Leiopleura*属,其余11属种数均未达100种。在中国,8个潜叶吉丁属中,潜吉丁属(*Trachys*)种数最多,占世界已知潜吉丁属(*Trachys*)种数6.94%,其次为角吉丁属(*Habroloma*)18种,另圆吉丁属(*Paratrachys*)、拟宽头吉丁属(*Cylindromorphus*)、宽头吉丁属(*Paracylindromorphus*)、*Pachyschelus*4属均未达10种。此外世界分布较多的*Brachys*、*Lius*等13属,目前我国未有记载。

2 潜叶吉丁生物学研究

潜叶吉丁类群庞大,生物习性较复杂,幼虫与

成虫的食性存在差异,但大多数为寡食性,仅有一小部分为广食性或单食性^[11]。潜叶吉丁的幼虫在叶片内部潜食和生活,不破坏叶表皮或外壁,而成虫则在外部直接取食^[6]。潜叶吉丁寄主植物丰富多样,从乔木、灌木到草本以及藤本植物,都有不同的潜叶吉丁寄生。对各属潜叶吉丁寄主植物进行统计,结果表明不同属的寄主植物差别较大。从寄主植物多样性来看,潜叶吉丁寄主植物共计30目45科61属,其中潜吉丁属(*Trachys*)寄主植物最丰富,占11目17科20属,其次为角吉丁属(*Habroloma*),另有6属目前未有详细寄主记录。各属主要以被子植物为寄主,其中*Aphanisticus*、宽头吉丁属(*Paracylindromorphus*)取食单子叶植物,圆吉丁属(*Paratrachys*)、角眼吉丁属(*Endelus*)、*Anthaxomorphus*、*Germanica*、潜吉丁属(*Trachys*)、角吉丁属(*Habroloma*)、*Brachys*、*Lius*、*Callimicra*、*Hylaeogena*、*Leiopleura*等属则取食双子叶植物,*Taphrocerus*、*Taphroceroides*、*Pachyschelus*3属既取食单子叶植物,也会取食双子叶植物,另外根据BELLAMY^[12]和HESPENHEIDE^[13]的记载,*Xyroscelis*和*Neotrachys*2属潜食蕨类植物。

潜叶吉丁作为内寄生的植食性昆虫,与寄主植物关系十分紧密^[8,14]。一方面为潜叶吉丁对寄主植物的取食和产卵行为。潜叶吉丁主要产卵于植株较高部分,卵的位置均避开主叶脉或位于叶片边缘^[15],且大多位于叶片正面第二、三叶脉附近^[16]。课题组在构树潜吉丁的空间分布研究中也得到了相同的结论。成虫的取食或产卵行为并

非随机^[15],而是受微环境(主要为光照、热量)影响。为了防止多头幼虫之间的资源竞争,潜叶吉丁在一片叶上一般只产一枚卵^[17],这一现象与某些潜叶蝇^[18]相一致。然而,KOHANDANI等^[19]却指出成虫产卵数与叶片上原有卵数无关,成虫甚至偏向于把卵产在已经有卵的叶片上,表明该行为是平衡“得与失”的结果,表现为同种间的竞争与叶片营养上的平衡。另一方面则是寄主植物对潜叶吉丁的防御策略。潜叶吉丁取食叶片的行为导致植物释放某些化学物质,从而使前者产生不适而减少取食。如新热带区榕属和夹竹桃科植物分泌乳胶以此减轻 *Leiopleura* 属成虫的取食^[20],而植物释放的某些化学物质也成为潜叶吉丁幼虫的死亡原因之一^[21]。植物物理特征也能产生防御作用,叶片着生位置、叶片颜色、表皮毛、叶脉排列方式、蜡质层等已被报道对潜叶虫活动产生部分阻碍作用^[14,20]。根据自身试验观察,壳斗科栎属植物叶片较厚,叶脉较硬,吉丁潜道初始沿叶脉方向潜食,至后期才能咬断叶脉扩展潜道。

随着潜叶吉丁逐渐受到关注,部分吉丁幼虫因危害经济植物而被报道,其生物学特征含生活史及种群动态等得以研究^[9-10,22-23]。如 *Taphrocerus schaefferi* 幼虫潜食荆三棱和油莎草^[5], *Ap. aeneus* 幼虫潜食甘蔗叶片^[7],另有已报道的潜吉丁幼虫危害大豆^[24]、榉栎、麻栎、栓皮栎^[9]、榆叶梅、杏、李等^[10],然而部分潜叶吉丁具生物防控效果,如 *Hylaeogena jureceki* 对入侵昆士兰(澳大利亚州)的猫爪藤能起到很好的控制效果^[25],而 *Lius poseidon* 则以入侵夏威夷的野牡丹科毛野牡丹藤(*Clidemia hirta*)和 *Tibouchina herbacea* 作为寄主植物,从而减轻入侵植物对当地生态的危害^[26]。为探索潜叶吉丁种群数量变动机制,以生命表特征研究方式得到补充^[27]。最早由 STORY等^[5]研究 *Taphrocerus schaefferi* 卵、幼虫、蛹、成虫阶段的数量动态变化;随后 TURNBOW等^[15]和 CONNOR^[21]分析了 *Brachys* 属吉丁各阶段的存活率及死亡因素(含卵未孵化、植物防御作用、捕食与寄生),后者依据叶片潜道面积大小,判断 *B. ovatus* 在不同阶段的存活情况,并表明卵、低龄幼虫及老熟幼虫的死亡率比中龄幼虫更高, HESPENHEIDE等^[16]与 CONNOR^[21]的研究结果一致,而 QUEIROZ^[17]则认

为早期幼虫主要受捕食作用,而老熟幼虫则主要受寄生作用。

为完整地描述潜叶吉丁生活史,综合前人研究成果,潜叶吉丁潜道通常为枯黄色或褐色,大斑块状或不规则带状,产卵点呈黑色椭圆形或长椭圆形^[7,17,24],表面附着一层由雌虫附腺分泌的蜡质物质^[22],起初是透明状,约 12 h 后颜色渐暗,2 d 后成小黑点^[5]。初孵幼虫首先在产卵点周围取食一圈,随后潜食上表皮及栅栏组织。幼虫下颚退化与下唇愈合,形式与“剪刀式”相近,平行叶片取食^[6]。1 龄幼虫因骨化程度低难以咬断叶脉而平行叶脉潜食,初始潜道狭小,随龄期的增长和虫体的长大,潜道逐渐加宽加深甚至使叶片只剩角质层,最后形成大斑块状潜道。幼虫的蜕皮方式为先从头部裂开,随后表皮侧部裂开,幼虫摆动身体把腹部从侧部裂缝中挪出的横向分裂方式,这种方式是因有限的潜道空间所致^[6]。老熟幼虫停止取食后,体型缩短化蛹。蛹起初为透明状,后变为金黄最后成棕褐色^[28]。成虫羽化后通常在潜道内部停留一段时间,然后从潜道背面(即产卵点相反的一面)咬出小洞飞出进行取食、交尾^[7]。成虫取食一般从叶片边缘开始,再逐步向叶片内部扩展,这种取食方式与其口器及头部短小嵌入前胸有关^[28],取食痕一般呈‘U’型。

3 潜叶吉丁分子生物学研究

3.1 分子标记及序列信息分析

截止 2016 年 10 月 14 日,在 NCBI 中已提交的潜叶吉丁的核酸序列共计 163 条,其中 80% 的序列由 EVANS 提交。其中包括细胞色素 b (Cytb)、细胞色素氧化酶 I,II(COI,COII),12S 核糖体 RNA(12S rRNA)、16S 核糖体 RNA(16S rRNA)、18S 核糖体基因(18S rDNA)、28S 核糖体基因(28S rDNA)、抗菌肽 mRNA、线粒体全基因组 DNA。线粒体基因序列数占核苷酸序列总数的 49.1%,核基因序列占 50.9%。蛋白质序列共计 98 条,占总序列的 37.55%。而核酸序列中以 COI 序列最多,共 69 条,约占总数的 42.33%。其次为 28S、18S、CAD,而 12S、16S 提交序列未达 10 条,目前还未提交 COII 分子序列。已提交序列的潜叶吉丁种类共计 17 属 44 种(其中 15 种未

定名), 占有潜叶吉丁种数的 1.71%。

3.2 核基因与线粒体基因在潜叶吉丁系统发育中的运用

早期对潜叶吉丁系统发育关系的研究基于单一的形态学特征, 如前胸背板、头部及胸外生殖器^[29], 而近期则多注重利用更广泛的分类单元和多重特征来源包括形态学、生态学、生物学研究。随着分子生物学、计算机等学科的发展, 部分学者已采用分子标记手段对潜叶吉丁虫进行系统发育研究^[30], 以期解答基于传统分类学建立的吉丁分类系统尚存的疑惑与问题^[31]。

潜叶吉丁分子研究中, 核基因与线粒体基因序列已被用于分子系统分析。KORTE 等^[32]利用 18S 和 28S 核基因序列对潜吉丁属(*Trachys*)吉丁进行了分子分析, 但只作为外群参与鞘翅目系统发育关系研究。BERNHARD 等^[33]研究表明所选的 8 个绿窄吉丁(*Agrilus viridis*)样本单独成一枝, 与窄吉丁属(*Agrilus*)其它种分离, 距潜吉丁属(*Trachys*)及外群属远, 因此窄吉丁属与潜吉丁属虽形态相似, 但在基因水平上相距较远。EVANS 等^[34]则发现, *Paratracheini* 族与潜吉丁族在分子水平上存在嵌套关系, *Paratrachys* (*Paratracheini*)被认为是筒吉丁亚科与窄吉丁亚科间潜叶吉丁的独立起源。潜吉丁族为多系群, 由各亚族组成。但潜吉丁亚族内 *Habroloma*、*Neotrachys* 2 属关系距离较远, 前者出现 *Cylindromorphini* 族枝系上, 后者则距 *Hylaeogena* (*Pachyschelina*) 较近; 但 *Pachyschelina* 亚族 *Pachyschelus* 属却与 *Agrilus* (*Agrilini*) 聚于一枝。

4 问题与展望

4.1 分类系统不断完善

我国潜叶吉丁研究主要集中在名录和外形描述等, 生物学研究主要因虫害报道而进行, 分类系统研究及名录仍存在较大空白。如樱潜叶吉丁甲^[10]被误认为隶属于潜吉丁亚科潜吉丁属, 反映了国内对潜吉丁亚科与窄吉丁亚科的关系仍不明确, 即对吉丁分类系统的认识不足。BOUCHARD 等^[35]虽在 BELLAMY 的 2008 年吉丁分类系统基础上提出 2 科 8 亚科分类系统, 但

EVANS 等^[34]也表明因不同的学者仅根据形态学进行划分, 吉丁虫总科的亚科及族分类系统至今尚未确定。加强国内对潜叶吉丁的认识至关重要, 此外完善吉丁分类系统中亚科、族、属间的分类地位成为进行吉丁相关工作重要任务。

4.2 分子手段与形态鉴定相互促进

潜叶吉丁种类世界分布 2 604 种, 因外形特征、生物习性的相似性, 存在大量的亚种与异名种, 鉴定新种、变种仅依靠形态特征存在较多难题, 而 DNA 条形码技术加快了对物种的鉴定进程, 但利用分子技术获得的结果往往与传统分类结果存在不一致^[36]。且据现有数据可知, 已提交序列的潜叶吉丁种数占有潜叶吉丁种数的 1%, 已提交序列的潜叶吉丁中存在的未命名种占其 34.1%, 还有 4 属未提交分子信息, 虽部分属种已研究较深入, 显然还有相当多潜叶吉丁的分子信息需补充。因此, 分子技术与外形特征、生物学、生态学特征相结合尤为必要, 二者相互补充。条形码技术将在生物学等各方面广泛应用^[7, 34, 37]。完善潜叶吉丁形态、生物学、生态学信息, 补充分子序列空白, 或采用支序分析法对潜叶吉丁族、属级亲缘关系进行深入研究, 是潜叶吉丁分子研究的可行方向。

4.3 潜叶吉丁的生物学多样性

相对于潜叶吉丁的外形特征, 其生物学的研究仍较少。就食性来看, 部分属内所有吉丁幼虫都是潜叶的, 而另一部分属内仅有部分是潜叶的, 目前仍有部分属的幼虫食性不确定。如 *Cillimicra* 属, HESPENHEIDE^[38]依据该属成虫长椭圆形的体型认为其可能是蛀杆或钻木而非潜叶, 但 EVANS 等^[34]则依据分子序列建树与 *Leiopleura* 属聚为一小枝暂将其收录于潜叶范围内; 此外潜叶属 *Hylaeogena* 中, 部分种类如 *H. thoracica* Waterhouse, 1 889 幼虫不潜叶而是造瘿^[39]; 共生也是生物学研究的重要内容, *Habroloma myrmecophila* 与编织蚁的共生成为潜叶吉丁虫在共生方面的首例^[22]。表现为成虫产卵于编织蚁巢穴, 幼虫开始潜食, 形成潜道成为编织蚁的庇护处, 降低其被捕食的几率, 同时编织蚁也可以减少吉丁幼虫的死亡数。

4.4 潜叶吉丁的起源演化

从进化角度来看, 潜叶吉丁幼虫具 3 种食性

(钻蛀型、食根型、潜叶型),EVANS等^[34]认为外部取食植物根部或茎干很可能是早期吉丁幼虫的取食方式,不断的进化过程,幼虫逐渐取食植物的不同营养组织(如植物叶片);STORY等^[5]也曾表明植物叶片的营养成分比茎干部分和根部更丰富。

总之,潜叶吉丁分布广,种类丰富,形态各异。幼虫潜食危害叶片,与寄主植物密切联系,可作为探讨植物与昆虫间关系的模式昆虫,生物学特征多样;分子生物学的技术进步与更新,促进潜叶吉丁系统发育研究,为探索其食性起源提供依据,但潜叶吉丁分类系统及其生态学研究有待完善,国内对潜叶吉丁的研究亟待补充。

(致谢:赣南师范大学潜叶昆虫组及江西农业大学入侵生物实验室各位同学帮助采集、扫描、鉴定植物标本,以及廖承清师兄帮助修改稿件。)

参考文献

- [1] BELLAMY C L. A world catalogue and bibliography of the jewel beetles (Coleoptera: Buprestoidea), pensoft series faunistica, Vol. 76-79, Vol. 1-4 [M]. Sofia-Moscow: Pensoft Publishers, 2008.
- [2] 刘玉双,石福明. 中国吉丁科昆虫区系的初步研究(鞘翅目)[C]. 中国昆虫学会成立 60 周年纪念大会暨学术研讨会, 2009: 70-76.
- [3] 沈光普,安广驰,刘世儒. 第六届华东昆虫学术讨论会在苏州召开[J]. 生物灾害科学, 1993(2): 32.
- [4] BILY S, KUBAN V, VOLKOVITSH M G, et al. Order coleoptera, family buprestidae [M]. Arthropod Fauna of the UAE, 2011(4): 168-223.
- [5] STORY R N, ROBINSON W H, PIENKOWSKI R L, et al. The biology and immature stages of *Taphrocerus schaefferi*, a leaf-miner of yellow nutsedge[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1979, 72(1): 93-98.
- [6] GREBENNIKOV V V. Life in two dimensions or keeping your head down: Lateral exuvial splits in leaf-mining larvae of *Pachyschelus* (Coleoptera: Buprestidae) and *Cameraria* (Lepidoptera: Gracillariidae) [J]. European Journal of Entomology, 2013, 110(1): 165-172.
- [7] MAHESH P, SRIKANTH J, CHANDRAN K, et al. Damage pattern and status of the leaf miner *Aphanisticus aeneus* Kerremans (Coleoptera: Buprestidae) in *Saccharum* spp. [J]. International Journal of Pest Management, 2014, 61(1): 36-46.
- [8] LIU W H, DAI X H, XU J S. Influences of leaf-mining insects on their host plants: A review[J]. Collectanea Botanica, 2015, 34(5): 1-22.
- [9] 李俊中,李玉峰,董文辉,等. 栎属新害虫:潜吉丁研究初报[J]. 河北林业科技, 2015, 5(14): 38-40.
- [10] 陈殿元,孙艳梅. 樱潜叶吉丁甲的初步观察[J]. 中国森林病虫害, 2016, 35(2): 24-25.
- [11] SAKALIAN V P. Studies on buprestidae (Coleoptera) in the sandanski-petric and goce delcev valleys-southwest bulgaria. II. Trophic specialization[J]. Acta Zoologica Bulgarica, 1993, 46: 67-78.
- [12] BELLAMY C L. Phylogenetic relationships of *Xyroschelus* (Coleoptera: Buprestidae) [J]. Invertebrate Taxonomy, 1997, 11(4): 569-574.
- [13] HESPENHEIDE H A. New species and new records of *Neotrachys* Obenberger, 1923, from central America and the Antilles Coleoptera Buprestidae [J]. Pan-Pacific Entomologist, 2006, 2(82): 223-241.
- [14] DAI X H, ZHU C D, XU J S, et al. Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(5): 1440-1449.
- [15] TURNBOW R H, FRANKLIN R T. Bionomics of *Brachys tessellatus* in coastal plain scrub oak communities[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1981, 74(74): 351-358.
- [16] HESPENHEIDE H A, KIM C O. Clutch size, survivorship, and biology of larval *Pachyschelus psychotriae* Fisher (Coleoptera: Buprestidae) [J]. Annals of the Entomological Society of America, 1992, 85(1): 48-52.
- [17] QUEIROZ J M. Distribution survivorship and mortality sources in immature stages of the neotropical leaf miner *Pachyschelus coeruleipennis* Kerremans (Coleoptera: Buprestidae) [J]. Braz J Biol, 2002, 62(1): 69-76.
- [18] APARICIO M L, FENOGLIO M S, VIDELA M. Leafminer egg distribution at decreasing leaf availability levels: Do females avoid intraspecific competition? [J]. Entomologia Experimentalis Et Applicata, 2015, 156(2): 170-177.
- [19] KOHANDANI F, GOFF G J L, HANCE T. Does insect mother know under what conditions it will make their offspring live? [J]. Insect Science, 2015, 24(1): 141-149.
- [20] HESPENHEIDE H A. Bionomics of leaf-mining insects[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1991, 36: 535-560.
- [21] CONNOR E F. Cohort and death assemblage estimates of survival rates and causes of mortality in *Brachys ovatus* (Weber) (Coleoptera: Buprestidae) [J]. American Midland Naturalist, 1988, 120(1): 150-155.
- [22] BILY S, FIKACEK M, SIPEK P. First record of myrmecophily in buprestid beetles: Immature stages of *Habroloma myrmecophila* sp. nov. (Coleoptera: Buprestidae) associated with *Oecophylla* ants (Hymenoptera: Formicidae) [J]. Insect Systematics & Evolution, 2008, 39(2): 121-131.
- [23] WESTCOTT R L, MURRAY T C. An exotic leafminer, *Trachys minutus* (L.) (Coleoptera: Buprestidae), found in Massa-

- chusetts, U. S. A [J]. Coleopterists Bulletin, 2012, 66 (4): 360-361.
- [24] 夏桀, 纪淑仁. 大豆食叶害虫潜叶吉丁的初步观察[J]. 安徽农业科学, 1993, 21(4): 349-351.
- [25] SNOW E, DHILEEPAN K. The Jewel Beetle (*Hylaeogena jureceki*); a new biocontrol for cat's claw creeper (*Dolichandra unguis-cati*) in Queensland [C]. Australasian Weeds Conference, 2014: 50-54.
- [26] CONANT P, HIRAYAMA C. A new host record for *Lius poseidon* Napp (Coleoptera: Buprestidae) [J]. Proceedings of the Hawaiian Entomological Society, 2002, 35: 147.
- [27] 路纪芳, 王小艺, 杨忠岐. 中国白蜡窄吉丁研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(3): 785-792.
- [28] HERING E M. Biology of the leaf miners [M]. Berlin: Dr W Junk Gravenhage, 1951.
- [29] BELLAMY C L. A catalogue of the higher taxa of the family Buprestidae (Coleoptera). Navorsinge van die Nasionale Museum Bloemfontein [J]. Natural Science, 1985, 4(15): 405-472.
- [30] BRASLAVSKY I, HEBERT B, KARTALOV E, et al. Sequence information can be obtained from single DNA molecules [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(7): 3960-3964.
- [31] BILY S, KUBAN V. *Trachys* Fabricius, 1801 (Insecta, Coleoptera): masculine gender of the genus fixed [J]. Bulletin of Zoological Nomenclature, 2009, 66(1): 100-102.
- [32] KORTE A, RIBERA I, BEUTEL R G, et al. Interrelationships of *Staphylini* form groups inferred from 18S and 28S rDNA sequences, with special emphasis on *Hydrophiloidae* (Coleoptera, Staphyliniformia) [J]. Journal of Zoological Systematics & Evolutionary Research, 2004, 42(4): 281-288.
- [33] BERNHARD D, FRITZSCH G, GLÖCKNER P, et al. Molecular insights into speciation in the *Agrilus viridis*-complex and the genus *Trachys* (Coleoptera: Buprestidae) [J]. European Journal of Entomology, 2005, 102(3): 599-605.
- [34] EVANS A M, MCKENNA D D, BELLAMY C L, et al. Large-scale molecular phylogeny of metallic wood-boring beetles (Coleoptera: Buprestoidea) provides new insights into relationships and reveals multiple evolutionary origins of the larval leaf-mining habit [J]. Systematic Entomology, 2015(40): 385-400.
- [35] BOUCHARD P, BOUSQUET Y, DAVIES A, et al. Family-group names in Coleoptera (Insecta) [J]. Zookeys, 2011, 30(88): 276-290.
- [36] HENDRICH L, MORINIERE J, HASZPRUNAR G, et al. A comprehensive DNA barcode database for Central European beetles with a focus on Germany: Adding more than 3500 identified species to bold [J]. Molecular Ecology Resources, 2014, 6(6): 1-24.
- [37] HUNT T, VOGLER A P. A protocol for large-scale rRNA sequence analysis: Towards a detailed phylogeny of Coleoptera [J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2008, 47(1): 289-301.
- [38] HESPEHHEIDE H A. Two new remarkable *Callimicra* Deyrolle, 1864 (Coleoptera: Buprestidae: Agrilinae) from central America [J]. Zootaxa, 2013, 3635(3): 297-300.
- [39] MEDIANERO E, BARRIOS H. Galls Produced by *Hylaeogena thoracica* (Coleoptera: Buprestidae) and the effect of the inquiline *Philides anthonomoides* (Coleoptera: Curculionidae) [J]. Coleopterists Bulletin, 2007, 61(4): 568-572.

Research Progress on Leaf-mining Jewel Beetles

XIAO Lifang^{1,2}, DAI Xiaohua², WANG Jianguo¹

(1. College of Agriculture, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045; 2. School of Life and Environmental Sciences, Gannan Normal University, Ganzhou, Jiangxi 341000)

Abstract: Leaf-mining jewel beetles belong to the family Buprestidae of the superfamily Buprestoidea within the order Coleoptera. In this study, main taxonomic groups and species diversity of leaf-mining jewel beetles were summarized; their biological and ecological characteristics, including feeding differentiation, relationship with host plants, economic importance, population dynamics and life history were analyzed; current progress on molecular biology of leaf-mining jewel beetles was also introduced. Finally, problems and prospects in the study field were put forward.

Keywords: leaf-mining jewel beetle; biology; host plants; diversity; molecular biology