

朱红毛斑蛾幼虫头部感受器扫描电镜观察

刘俊延 黄宗优 张玉静 董子舒 陆 温 郑霞林*

(广西大学农学院, 广西农业环境与农产品安全重点实验室, 南宁 530004)

摘要: 为了解朱红毛斑蛾 *Phauda flammans* (Walker) 幼虫头部感受器的种类、分布、数量以及形态特征, 利用扫描电镜观察了朱红毛斑蛾幼虫头部形态及触角和口器上的感受器。结果表明, 朱红毛斑蛾幼虫头部椭圆形, 下口式; 触角上着生2个毛形感受器、1个刺形感受器和3个锥形感受器; 上颌分布有1对刺形感受器和2对栓锥形感受器; 下颌分布有1对毛形感受器和1对刺形感受器, 下颌须分布有8个锥形感受器; 下唇须分布有1个锥形感受器和1个刺形感受器。锥形感受器在朱红毛斑蛾幼虫头部上的分布多而广, 在寄主选择时可能发挥关键作用。

关键词: 榕树; 朱红毛斑蛾; 扫描电镜; 锥形感受器; 寄主选择

Observation of sensilla on the larval head of *Phauda flammans* (Walker) with scanning electron microscope

Liu Junyan Huang Zongyou Zhang Yujing Dong Zishu Lu Wen Zheng Xialin*

(Guangxi Key Laboratory of Agric-Environment and Agric-Products Safety, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to clarify the types, number, distribution and morphological characteristics of sensilla on the larval head of *Phauda flammans* (Walker), the morphology of head and sensilla on antennae and mouthparts were studied using scanning electron microscope. The results showed that the larval head was elliptical and hypognathous. Two sensilla trichodea, one sensillum chaeticum, and three sensilla basiconica were observed on the antenna. Two sensilla chaetica and four sensilla styloconica were found on the mandible, two sensilla trichodea and two sensilla chaetica were found on the maxillae. Eight sensilla basiconica were identified on maxillary palp. One sensillum basiconicum and one sensillum chaeticum were found on labial palpus. Large quantity and widely distributed of sensilla basiconica on the larval head were speculated that they were the crucial sensilla in host selection.

Key words: ficus; *Phauda flammans*; scanning electron microscopy; sensilla basiconica; host selection

昆虫头部是感觉和取食中心, 依靠头部感受器感知外界化学刺激和机械作用, 借以觅食、聚集、求偶、交配、产卵和躲避天敌等(彩万志等, 2011)。在昆虫定位寄主过程中, 通常先利用嗅觉感受器从众多的气味物质中识别微量的特异性化合物定位寄主植物(Kurtovic et al., 2007), 然后通过口器上的味觉感受器判断其是否为合适的寄主植物(Dey et al.,

2011)。所以, 研究嗅觉和味觉感受器是探索昆虫寄主选择的前提, 有助于了解幼虫取食行为机制, 对制定害虫绿色防控策略具有重要指导意义。目前, 国内外针对昆虫感受器的研究, 主要集中在感受器的外部形态特征及其功能, 根据感受器形态特征及着生部位, 分为毛形、刺形、锥形、栓锥形、板形和耳形感受器等(Barsagade et al., 2013; 钟海英等, 2017)。

基金项目: 国家自然科学基金(31660206), 广西自然科学基金(2015GXNSFAA139056)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: zheng-xia-lin@163.com

收稿日期: 2017-04-18

朱红毛斑蛾 *Phauda flammans* (Walker) 又名朱红榕蛾、焰色榕蛾、红毛斑蛾, 属鳞翅目斑蛾科, 是榕树上的一种重要食叶害虫, 在我国及东南亚国家均有分布 (Nageshchandra et al., 1972; Verma & Dogra, 1982; 刘俊延等, 2015a)。该虫在广西壮族自治区 (简称广西) 南宁市 1 年发生 2~3 代, 以幼虫及蛹越冬 (刘俊延等, 2014; 2015a)。由于其发育起点温度较低, 幼虫抗低温能力较强 (刘俊延等, 2015b; Zheng et al., 2017), 且天敌自然控制作用不明显 (Zheng et al., 2015), 使得其在我国南方榕树种植区常暴发为害, 严重影响城市景观和生态效益。

前期研究发现, 朱红毛斑蛾为寡食性害虫, 幼虫仅取食小叶榕和垂叶榕 (刘俊延等, 2016), 但幼虫头部具有的感受器种类和分布等尚不清楚, 而这是探讨其感受器功能与寄主选择的关键环节。鉴于此, 本试验观察朱红毛斑蛾幼虫头部感受器的种类、分布、数量和形态特征, 以期为进一步探究寄主选择机制及利用化学生态学方法持续控制该虫奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫: 2016 年 6 月在广西大学校园内采集朱红毛斑蛾幼虫后置于直径 9 cm 培养皿中, 在室内于温度 $26 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $(70 \pm 10)\%$ 、光周期 16 L: 8 D 条件下单头饲养, 取 5 龄幼虫备用。

试剂及仪器: 2.5% 戊二醛, 成都市科龙化工试剂厂; 0.1 mol/L pH 7 磷酸缓冲液, 北京索莱宝科技有限公司; 乙醇, 天津市富宇精细化工有限公司。JP-010T 超声波振荡仪, 广州市吉普超声波电子有限公司; E-1010 型离子溅射仪、S-3400N 型扫描电镜, 日本东京 Hitachi 公司。

1.2 方法

取 5 龄朱红斑蛾幼虫 5 头, 置于 50 mL 小烧杯中, 于 -10°C 快速冷冻 10 min, 使幼虫冻僵昏迷后用解剖刀迅速切下幼虫头部, 用滤纸吸干头部边缘的淋巴液以免污染头部。将头部放入经过 4°C 预冷的 2.5% 戊二醛中固定 24 h 后, 将幼虫头部置于超声波振荡仪中清洗 180 s, 除去表面杂质, 再用 0.1 mol/L pH 7 磷酸缓冲液洗涤 3 次, 每次 10 min, 再经 70%、80%、90% 和 100% 梯度乙醇逐级脱水 10 min, 室温下自然干燥 12 h。将样品按照侧面观、背面观及腹面观的角度用双面导电胶将幼虫头部分别粘于样品台上, 经离子溅射仪喷金处理 50 s 后, 置于扫描电镜下观察拍照, 加速电压为 10.0 kV。参照《普通昆虫

学》(彩万志等, 2011) 和 Zacharuk & Shields (1991) 的方法比对扫描电镜照片, 观察并描述朱红毛斑蛾幼虫头部和口器形态特征并对幼虫头部的触角、上下颚及下唇上的感受器进行鉴别、分类、命名和计数。

1.3 数据分析

利用 ImageJ 1.48u 软件测量各类感受器的长度与宽度, 利用 SPSS 18.0 软件对数据进行描述性统计分析。

2 结果与分析

2.1 朱红毛斑蛾幼虫头部和口器的形态特征

朱红毛斑蛾幼虫头部呈椭圆形, 下口式。幼虫头部蜕裂线, 呈倒 Y 字形, 将头部划分为 3 部分, 中央三角区为额, 两侧为颊侧区。触角位于头部侧下方, 着生于呈弧形排列的 6 个侧单眼和上颚之间 (图 1-a~b), 由柄节、梗节和鞭节组成, 柄节较粗, 长度约为 $120.95 \mu\text{m}$, 基部缩进触角窝内; 梗节细长, 长度约为 $275.50 \mu\text{m}$; 鞭节细小, 长度约为 $18.38 \mu\text{m}$, 似短锥形, 位于梗节端部边缘, 较前 2 节明显缩短。口器由上唇、上颚、下颚、下唇和舌组成。头部中央的 1 块横片为上唇 (图 1-c), 上唇侧缘至前缘弧形, 中间有一较深的缺刻, 整个上唇形如凹字形, 其上着生 10 根刚毛, 两侧缘各 1 根, 前缘两侧未凹陷和凹陷的区域内各 2 根, 上唇后方为唇基, 额唇基沟十分明显, 上唇可前后或稍微左右活动, 防止取食时食物外漏; 上颚由头部第 1 对附肢演化而来, 三角形锥状的上颚前端具 5 个掌状切齿 (图 1-c), 主要用于撕裂和咀嚼食物; 下颚位于上颚后方, 由轴节、茎节、内颚叶、外颚叶和下颚须组成 (图 1-d), 用以辅助取食, 其与舌、下唇的基部连成一个复合体。复合体尖端具有吐丝器 (图 1-c), 吐丝器两侧为下唇须 (图 1-c~d), 基部较粗, 圆筒状; 舌位于下唇内壁上 (图 1-d), 是下唇膜质的突起部分, 可帮助运送和吞咽食物。

2.2 朱红毛斑蛾幼虫触角上的感受器

触角由 3 节组成, 柄节位于最基部, 无感受器附着; 梗节中部外侧着生 1 根 I 型毛形感受器 (St I), 与触角约呈 65° , 基部至端部渐细, 整体长约 $94.53 \mu\text{m}$, 基部宽约 $6.11 \mu\text{m}$ (表 1), 梗节顶端着生 1 根约和梗节等长的 II 型毛形感受器 (St II), 倾斜于臼状窝内 (图 2-a~b), 是长度最长、基部宽度最宽的感受器, 整体长约 $219.58 \mu\text{m}$ 、宽约 $7.41 \mu\text{m}$ (表 1); 梗节端部着生 2 个长约 $38.68 \mu\text{m}$ 、宽约 $5.61 \mu\text{m}$ 的 I 型锥形感受器 (Sb I) (表 1), 钉状, 但较短粗, 着生于臼状窝内 (图 2-a~b); 鞭节端部外侧着生 1 个较 I 型明显短的

II型锥形感受器(Sb II)(图2-a~b),花芽状,长约 $8.10\text{ }\mu\text{m}$ 、宽约 $2.66\text{ }\mu\text{m}$ (表1),旁侧着生1个长约 $34.66\text{ }\mu\text{m}$ 、宽约 $5.03\text{ }\mu\text{m}$ 的I型刺形感受器(Sc I)

(表1),长针状,顶端极尖,斜插于臼状窝内(图2-a~b)。

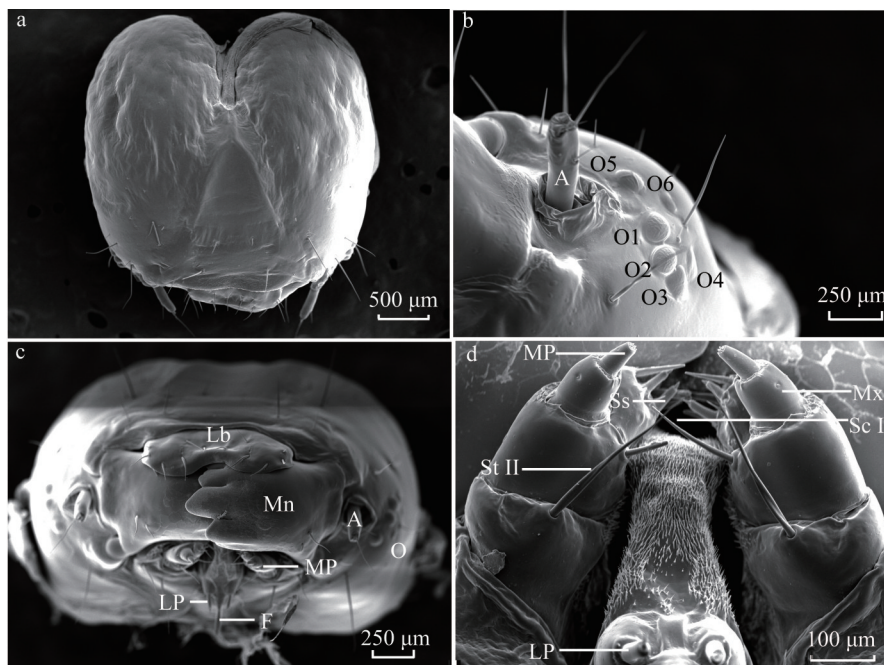


图1 朱红毛斑蛾幼虫头部和口器的形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of larval head and mouthpart in *Phauda flammanis*

a: 头部背面观; b: 触角和侧单眼的分布; c: 头部侧面观; d: 头部腹面观。A: 触角; O1~6: 侧单眼; Lb: 上唇; Mn: 上颚; MP: 下颚须; LP: 下唇须; F: 吐丝器; Mx: 下颚; Ss: 栓锥型感受器; Sc II: II型刺形感受器; St II: II型毛形感受器; J: 舌。a: Dorsal view of head; b: distribution of antennae and lateral ocelli; c: lateral view of head; d: ventral view of head. A: antenna; O1~6: lateral ocelli; Lb: labrum; Mn: mandible; MP: maxillary palpus; LP: labial palpus; F: fusulus; Mx: maxilla; Ss: sensilla styloconica; Sc II: sensilla chaetica II; St II: sensilla trichodea II; J: hypopharynx.

2.3 朱红毛斑蛾幼虫上下颚上的感受器

幼虫上颚外沿相对着生2对长约 $9.44\text{ }\mu\text{m}$ 、宽约 $2.88\text{ }\mu\text{m}$ 的栓锥形感受器(Ss)(表1),基部突起,突起部分顶端有小腔,腔内有1个锥状隆起,突起部分长于锥形隆起(图1-d),栓锥形感受器朝向下颚的前侧着生1对较长的II型刺形感受器(Sc II)(图1-d),长约 $100.78\text{ }\mu\text{m}$ 、宽约 $7.00\text{ }\mu\text{m}$ (表1);下颚茎节中部区域外侧相对斜插2个II型刺形感受器(Sc II),靠近轴节与茎节交界处的臼状窝对称着生有2个II型毛形感受器(St II)(图1-d),下颚须端部着生8个III型锥形感受器(Sb III),是长度最短、基部宽度最窄的感受器(图2-c),长约 $2.82\text{ }\mu\text{m}$ 、宽约 $1.49\text{ }\mu\text{m}$ (表1),顶端圆钝或呈三角锥状(图2-c~d)。

2.4 朱红毛斑蛾幼虫下唇上的感受器

下唇包括1对下唇须和1个延长的管状吐丝器(图2-e)。下唇须端部着生1对长约 $14.48\text{ }\mu\text{m}$ 、宽约 $3.59\text{ }\mu\text{m}$ 的IV型锥形感受器(Sb IV)(表1),短钉状,

基部无臼状窝,其正前方着生1对较长的I型刺形感受器(Sc I)与IV型锥形感受器几乎平行,基部有臼状窝(图2-e~f)。

3 讨论

研究发现朱红毛斑蛾幼虫头部结构与其它鳞翅目昆虫的幼虫一致,为下口式,口器由上唇、上颚、下颚、下唇和舌组成,触角位于头部侧下方,着生于呈弧形排列的6个侧单眼和上颚之间,与已报道的豇豆荚螟 *Maruca vitrata* (Fabricius)(王攀等,2011)、苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (Linnaeus)(支海美等,2012)、金银花尺蠖 *Heterolocha jinyinhuaephaga* Chu(向玉勇等,2016a)和二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)(钟海英等,2017)的侧单眼数相同。鳞翅目幼虫侧单眼数多为5~7个,具有感知颜色、形状、距离、运动和偏振光等功能(刘红霞和彩万志,2007),侧单眼为重要视觉器官,数量之间的差异是

否对这些功能产生影响还需进一步探索。

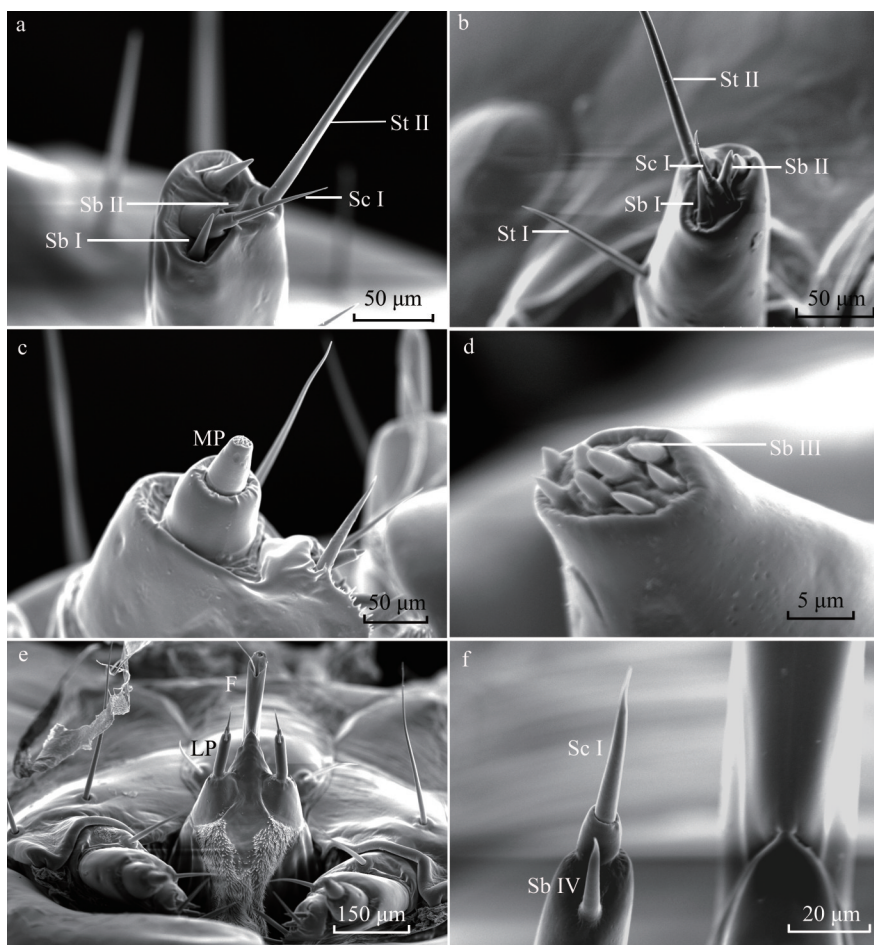


图2 朱红毛斑蛾幼虫头部感受器的类型和形态特征

Fig. 2 Types and morphological characteristics of larval head sensilla in *Phauda flammans*

a~b: 幼虫触角上的感受器; c~d: 幼虫下颚须上的感受器; e~f: 幼虫下唇须上的感受器。St I: I型毛形感受器; St II: II型毛形感受器; Sb I: I型锥形感受器; Sb II: II型锥形感受器; Sc I: I型刺形感受器; MP: 下颚须; Sb III: III型锥形感受器; LP: 下唇须; F: 吐丝器; Sb IV: IV型锥形感受器。a~b: The sensilla on the antenna; c~d: the sensilla on the maxillary palpus; e~f: the sensilla on the labial palpus. St I: sensilla trichodea I; St II: sensilla trichodea II; Sb I: sensilla basiconica I; Sb II: sensilla basiconica II; Sc I: sensilla chaetica I; MP: maxillary palpus sensilla; Sb III: sensilla basiconica III; LP: labial palpus; F: fusulus; Sb IV: sensilla basiconica IV.

相较于昆虫视觉器官和感受器研究,其嗅觉和触觉感受器在近年研究中更为系统和成熟(刘军和赵紫华,2017)。鳞翅目昆虫可通过嗅觉和触觉感受器感受外界刺激,从而在选择寄主植物和繁殖等方面发挥重要作用(Ansebo et al., 2005)。因此,关于感受器类型、分布、功能和机制等方面的研究是昆虫行为和化学生态学的重要内容(Paul et al., 2016)。然而,近年来关于幼虫感受器的研究仅涉及透翅蛾科、螟蛾科、草螟科和尺蛾科等昆虫,发现不同种类昆虫幼虫头部感受器的数量、种类和分布存在差异。本研究中,在朱红毛斑蛾幼虫触角上共观察到12个感受器,多于在小地老虎 *Agrotis ipsilon* (Hüfnagel)

幼虫触角上观察到的10个感受器(向玉勇等, 2016b),而少于在山核桃透翅蛾 *Sphecodoptera sheni* Arita & Xu(周平等, 2015)、金银花尺蠖(向玉勇等, 2016a)和二化螟幼虫触角上观察到的14个感受器(钟海英等, 2017)以及在豇豆荚螟幼虫触角上观察到的18个感受器(王攀等, 2011),触角感受器种类均以毛形感受器、刺形感受器和锥形感受器为主,且集中于触角的梗节和鞭节。在朱红毛斑蛾幼虫上下颚共观察到26个感受器,多于在豇豆荚螟幼虫上下颚观察到的16个感受器(王攀等, 2011)、小地老虎幼虫上下颚上观察到的22个感受器(向玉勇等, 2016b),而少于在山核桃透翅蛾幼虫上下颚观察到

的38个感受器(周平等,2015)、金银花尺蠖幼虫上下颚观察到的32个感受器(向玉勇等,2016a)和二化螟幼虫上下颚观察到的30个感受器(钟海英等,2017),各幼虫上下颚感受器种类以锥形感受器和栓锥形感受器为主,上颚感受器集中于上颚外沿,下颚感受器集中于茎节、轴节,尤其在下颚须最多。在朱

红毛斑蛾幼虫下唇上共观察到4个感受器,与豇豆荚螟(王攀等,2011)、山核桃透翅蛾(周平等,2015)和二化螟幼虫(钟海英等,2017)相同,但向玉勇等(2016a,b)在金银花尺蠖和小地老虎幼虫下唇上观察到6个感受器,幼虫下唇上感受器类型以锥形感受器、刺形感受器和栓锥形感受器为主。

表1 朱红毛斑蛾幼虫头部感受器的类型、分布、数量、长度与宽度

Table 1 The type, distribution, number, length and width of larval head sensilla in *Phaуда flammans*

类型 Type	亚型 Subtype	分布 Distribution	样本量 Sample size	数量 Number	长度 Length (μm)	宽度 Width (μm)
毛形感受器 Sensilla trichodea	St I	触角梗节中部 Central of antenna pedicel	10	2.00±0.00	94.53±3.83	6.11±0.10
	St II	触角梗节端部、下颚轴节 At the end of antenna pedicel, maxillae cardo	15	4.00±0.00	219.58±1.88	7.41±0.14
刺形感受器 Sensilla chaetica	Sc I	触角鞭节端部、下唇须端部 At the end of antenna flagellum and labial palpus	15	4.00±0.00	34.66±0.35	5.03±0.03
	Sc II	上颚外沿、下颚茎节 Outside edge of mandible, maxillae stipes	5	4.00±0.00	100.78±4.05	7.00±0.23
锥形感受器 Sensilla basiconica	Sb I	触角梗节端部 At the end of antenna pedicel	10	4.00±0.00	38.68±1.58	5.61±0.07
	Sb II	触角鞭节端部 At the end of antenna flagellum	10	2.00±0.00	8.10±0.02	2.66±0.05
	Sb III	下颚须端部 At the end of maxillary palpus	5	16.00±0.00	2.82±0.07	1.49±0.05
	Sb IV	下唇须端部 At the end of labial palpus	5	2.00±0.00	14.48±0.64	3.59±0.05
栓锥形感受器 Sensilla styloconica		上颚外沿 Outside edge of mandible	5	4.00±0.00	9.44±0.25	2.88±0.03

在朱红毛斑蛾幼虫头部上共观察到4种感受器,分别为毛形感受器、刺形感受器、锥形感受器和栓锥形感受器。感受器数量间的差异可能会对幼虫搜寻或感知外界物理或化学刺激的反应程度造成影响(Zacharuk & Shields, 1991)。锥形感受器在朱红毛斑蛾幼虫头部分布多而广,数量多达22个,占比52.4%,这种以锥形感受器占据明显优势的情况在豇豆荚螟(王攀等,2011)、山核桃透翅蛾(周平等,2015)和在二化螟(钟海英等,2017)等昆虫中均得到证实,推测锥形感受器可能是辅助朱红毛斑蛾幼虫取食的关键感觉器,Albert(2003)证实锥形感受器为多孔形感受器,气味信号通过孔洞进入感受器内与某些物质产生化学或物理反应,从而引起内分泌或电生理变化,将信息传入神经中枢,所以可作为气味物质的探测器与接收器。此外,锥形感受器在头部不同的分布区域具有不同功能,不仅能感受味觉

刺激,对物理机械、嗅觉及CO₂刺激均有明显反应(Kell, 1996; Barsagade et al., 2013)。Lopes et al. (2002)研究发现桉嗜木天牛 *Phoracantha semipunctata* Fabricius 幼虫的锥形感受器对其寄主挥发物中的 α -萜澄茄油烯有明显电位反应,在朱红毛斑蛾喜食的垂叶榕挥发物中也检测到 α -萜澄茄油烯(未发表),是否朱红毛斑蛾幼虫头部上的锥形感受器在寄主选择过程中发挥同样作用还需进一步证实。

毛形感受器是大多数鳞翅目昆虫触角上数量最多的感受器,对机械与化学刺激均有明显反应(Roh et al., 2016)。但在朱红毛斑蛾幼虫触角上仅观察到6个,毛形感受器的数量优势并不明显,这种现象在其它鳞翅目幼虫中也存在。例如,在豇豆荚螟幼虫头部仅发现4个毛形感受器(王攀等,2011),在金银花尺蠖和小地老虎中观察到10个毛型感受器(向玉勇等,2016a,b),而在山核桃透翅蛾和二化螟中未发

现(周平等, 2015; 钟海英等, 2017)。但毛形感受器的长度明显长于其它感受器, 推测毛形感受器可能仅起到感受机械刺激的作用。在选择寄主植物时, 主要利用分布在头部数量更多的锥形感受器感受触觉或味觉的刺激即可。

Paul et al. (2016) 提出刺形感受器能感知机械刺激, 且该感受器在鳞翅目成虫触角上也广泛存在, 并被证实具有感受物理机械刺激, 如识别声音、感受气流等 (Wang et al., 2015), 甚至起到支撑保护的作用 (Chang et al., 2015)。本研究发现, 刺形感受器在朱红毛斑蛾幼虫头部的触角、上下颚及下唇须均有分布, 认为该感受器在朱红毛斑蛾幼虫取食及感受外界物理机械刺激等方面起到重要作用。

栓锥形感受器在朱红毛斑蛾幼虫头部上颚有分布, 在其它鳞翅目昆虫幼虫的触角、下唇须等也有分布 (支海美等, 2012; 向玉勇等, 2016a)。Clark (1981) 证实在幼虫头部上的栓锥形感受器具有感受机械和味觉的作用, 而在成虫上该感受器通常作为热信号感受器 (Steinbrecht & Müller, 1991)。这种幼虫与成虫之间感受器的功能差异, 可能是昆虫适应性进化的结果。

总而言之, 本研究描述了朱红毛斑蛾幼虫头部感受器类型、分布、数量和形态特征, 并判断了部分感受器的功能, 但作为寡食性害虫, 朱红毛斑蛾幼虫只危害小叶榕和垂叶榕, 其头部各感受器的感觉谱、感觉细胞、各感受器的实际生理功能及在寄主选择与取食为害过程中的作用等, 还需借助单细胞记录或触角电位等技术进行深入探究。

参 考 文 献 (References)

- Albert PJ. 2003. Electrophysiological responses to sucrose from a gustatory sensillum on the larval maxillary palp of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Insect Physiology*, 49(8): 733–738
- Ansebo L, Ignell R, Löfqvist J, Hansson BS. 2005. Responses to sex pheromone and plant odours by olfactory receptor neurons housed in sensilla auricillica of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Insect Physiology*, 51(10): 1066–1074
- Barsagade DD, Khurad AM, Chamat MV. 2013. Microscopic structure of mouth parts sensillae in the fifth instar larvae of eri silkworm, *Philosamia ricini* (Lepidoptera: Saturniidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 1(3): 15–21
- Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, Liang GW, Song DL. 2011. General entomology (2nd editon). Beijing: China Agricultural University Press, pp. 36–55 (in Chinese) [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 梁广文, 宋敦伦. 2011. 普通昆虫学(第2版). 北京: 中国农业大学出版社, pp. 36–55]
- Chang XQ, Zhang S, Lü L, Wang MQ. 2015. Insight into the ultrastructure of antennal sensilla of *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Insect Science*, 15(1): 124
- Clark JV. 1981. Feeding deterrent receptors in the last instar African armyworm *Spodoptera exempta*: a study using salicin and caffeine. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 29(2): 189–197
- Dey S, Singh S, Chakraborty R. 2011. Surface ultrastructure of larval mouthpart sensilla of the muga silkworm, *Antheraea assamensis*, an endemic species of North-East India. *Microscopy Research and Technique*, 74(3): 292–300
- Kell TA. 1996. Sensilla on the maxillary palps of *Helicoverpa armigera* caterpillars: in search of the CO₂-receptor. *Tissue and Cell*, 28(6): 703–717
- Kurtovic A, Widmer A, Dickson BJ. 2007. A single class of olfactory neurons mediates behavioural responses to a *Drosophila* sex pheromone. *Nature*, 446(7135): 542–546
- Liu HX, Cai WZ. 2007. The structure and function of simple eyes of insects. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(4): 603–607 (in Chinese) [刘红霞, 彩万志. 2007. 昆虫单眼的结构和功能. 应用昆虫学报, 44(4): 603–607]
- Liu JH, Zhao ZH. 2017. Roles of insect vision in host plant finding and locating. *Journal of Plant Protection*, 44(3): 353–362 (in Chinese) [刘军和, 赵紫华. 2017. 昆虫视觉在寄主寻找及定位过程中的作用. 植物保护学报, 44(3): 353–362]
- Liu JY, He QL, Su S, Wei H, Yang J, Lu W, Zheng XL. 2014. Investigated method of *Phauda flammans* pupae. *China Plant Protection*, 34(6): 51–53 (in Chinese) [刘俊延, 何秋隆, 苏莎, 魏航, 杨娟, 陆温, 郑霞林. 2014. 榕树食叶害虫朱红毛斑蛾蛹的调查方法. 中国植保导刊, 34(6): 51–53]
- Liu JY, He QL, Wei H, Yang J, Li J, Lu W, Zheng XL. 2015a. Biological characteristics of *Phauda flammans* (Lepidoptera: Zygaenidae). *Plant Protection*, 41(3): 188–192 (in Chinese) [刘俊延, 何秋隆, 魏航, 杨娟, 李俊, 陆温, 郑霞林. 2015a. 朱红毛斑蛾生物学特性研究. 植物保护, 41(3): 188–192]
- Liu JY, He QL, Wei H, Yang J, Li J, Lu W, Zheng XL. 2015b. Developmental duration, threshold temperature and effective accumulated temperature of *Phauda flammans* under natural temperature indoor. *Plant Protection*, 41(1): 137–140 (in Chinese) [刘俊延, 何秋隆, 魏航, 杨娟, 李俊, 陆温, 郑霞林. 2015b. 自然变温下朱红毛斑蛾发育历期、起点温度和有效积温. 植物保护, 41(1): 137–140]
- Liu JY, Ma ZH, Wu SY, Lin MY, Zhang J, Lu W, Zheng XL. 2016. Studies on the feeding preferences of *Phauda flammans* Walker (Lepidoptera: Zygaenidae). *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 924–930 (in Chinese) [刘俊延, 马仲辉, 吴塞逸, 林敏怡, 张静, 陆温, 郑霞林. 2016. 朱红毛斑蛾嗜食性的研究. 环境昆虫学报, 38(5): 924–930]
- Lopes O, Barata EN, Mustaparta H, Araújo J. 2002. Fine structure of antennal sensilla basiconica and their detection of plant volatiles in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* Fabricius

- (Coleoptera: Cerambycidae). *Arthropod Structure & Development*, 31(1): 1–13
- Nageshchandra BK, Rajagopal BK, Balasubramanian R. 1972. Occurrence of slug caterpillar *Phauda flammans* Wlk. (Lepidoptera: Zygaenidae) on *Ficus racemosa* L. in South India. *Mysore Journal Agricultural Science*, 6: 186–189
- Paul AG, Dey S, Kalita J. 2016. Fine structural studies on major larval mouth part sensilla of *Antheraea assamensis*, an endemic silk moth species of North East India in regard to sensory physiology. *Journal of Applied and Fundamental Sciences*, 2(1): 6–16
- Roh HS, Park KC, Oh HW, Park CG. 2016. Morphology and distribution of antennal sensilla of two tortricid moths, *Cydia pomonella* and *C. succedana* (Lepidoptera). *Microscopy Research and Technique*, 79(11): 1069–1081
- Steinbrecht RA, Müller B. 1991. The thermo-/hygrosensitive sensilla in the silkworm *Bombyx mori*: morphological changes after dry- and moist-adaptation. *Cell Tissue Research*, 266(3): 441–456
- Verma TD, Dogra GS. 1982. Occurrence of *Phauda flammans* Wlk. (Lepidoptera: Zygaenidae) on *Ficus* species in Himachal Pradesh. *Journal of Tree Sciences*, 1: 130–132
- Wang P, Zheng XL, Lei CL, Wang XP. 2011. Observation on the head and chemoreceptors of *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae) larvae. *Plant Protection*, 37(2): 72–75 (in Chinese) [王攀, 郑霞林, 雷朝亮, 王小平. 2011. 豇豆荚螟幼虫头部形态及化学感受器观察. *植物保护*, 37(2): 72–75]
- Wang R, Zhang L, Xu LL, Zong SX, Luo YQ. 2015. Sensilla on the antennae and ovipositor of the sea buckthorn carpenter moth, *Holcocerus hippophaecolus* Hua et al (Lepidoptera: Cossidae). *Neotropical Entomology*, 44(1): 68–76
- Xiang YY, Kong DD, Liu TX, Zhang SZ. 2016b. Observation of the sensilla on female adult antenna and larval head of *Agrotis ypsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) with scanning electron microscope. *Acta Entomologica Sinica*, 59(12): 1340–1347 (in Chinese) [向玉勇, 孔丹丹, 刘同先, 张世泽. 2016b. 小地老虎雌雄蛾触角及幼虫头部感受器扫描电镜观察. *昆虫学报*, 59(12): 1340–1347]
- Xiang YY, Xu L, Yang MF, Li ZZ. 2016a. Observation on the larval head chemoreceptors of honeysuckle geometrid *Heterolocha jinyinhuaephaga* Chu with scanning electron microscope. *Journal of Plant Protection*, 43(2): 288–292 (in Chinese) [向玉勇, 徐莉, 杨茂发, 李子忠. 2016a. 金银花尺蠖幼虫头部化学感受器扫描电镜观察. *植物保护学报*, 43(2): 288–292]
- Zacharuk RY, Shields VD. 1991. Sensilla of immature insects. *Annual Review of Entomology*, 36: 331–354
- Zheng XL, Li J, Su L, Liu JY, Meng LY, Lin MY, Zhang J, Lu W. 2015. Ecological and morphological characteristics of parasitoids in *Phauda flammans* (Lepidoptera: Zygaenidae). *Parasite*, 22: 36
- Zheng XL, Liu JY, Huang ZY, Meng LY, Li J, Lu W. 2017. Cold hardiness of *Phauda flammans* (Lepidoptera: Zygaenidae) larvae. *Entomologica Fennica*, 28(1): 9–15
- Zhi HM, Liu XY, Yang D. 2012. Structure of the sensilla on the antennae and mouthparts of *Cydia pomonella* as revealed by a scanning electron microscope (SEM). *Chinese Bulletin of Entomology*, 49(1): 43–48 (in Chinese) [支海美, 刘星月, 杨定. 2012. 苹果蠹蛾头部传感器的电镜扫描结构. *应用昆虫学报*, 49(1): 43–48]
- Zhong HY, Zhang JF, Li F, Chen JM. 2017. Mouthparts and antenna and their associated sensilla of rice and water-oat populations of the striped rice borer (*Chilo suppressalis*). *Chinese Journal of Rice Science* 31(2): 195–206 (in Chinese) [钟海英, 张珏锋, 李芳, 陈建明. 2017. 二化螟水稻、茭白种群幼虫口器和触角及其感器扫描电镜观察. *中国水稻科学*, 31(2): 195–206]
- Zhou P, Zhao PP, Cao X, Gao J, Ju YW. 2015. Observation of the sensilla on the larval head of *Sphexodoptera sheni* by using scanning electron microscopy. *Plant Protection*, 41(4): 63–67 (in Chinese) [周平, 赵盼盼, 曹霞, 高瑾, 巨云为. 2015. 山核桃透翅蛾幼虫头部感受器扫描电镜观察. *植物保护*, 41(4): 63–67]

(责任编辑:王璇)