

分月扇舟蛾触角感觉器的扫描电镜观察^{*}

付盈盈^{1,2} 汤方^{1,2**} 赵文亮^{1,2} 巨云为^{1,2}

(1. 南京林业大学森林资源与环境学院 南京 210037; 2. 江苏省有害生物入侵预防与控制重点实验室 南京 210037)

摘 要 利用扫描电镜对分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* (L.) 成虫触角感觉器的形态、结构进行了观察。扫描电镜观察结果表明,分月扇舟蛾触角由柄节、梗节和鞭节组成,触角外侧面覆盖有鳞片,绝大部分触角感觉器位于触角的腹面和外侧面。雌、雄蛾触角上均存在以下 8 种感觉器,即毛形感器、刺形感器、腔形感器、腔锥形感器、栓锥形感器、锥形感器、柱形感器和鳞形感器。各种感觉器在雌、雄蛾触角上的分布大体相同,但数量有明显的区别。

关键词 分月扇舟蛾, 触角, 感觉器, 超微结构

Antennal sensilla of *Clostera anastomosis* observed with scanning electron microscope

FU Ying-Ying^{1,2} TANG Fang^{1,2**} ZHAO Wen-Liang^{1,2} JU Yun-Wei^{1,2}

(1. College of Forestry Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China;

2. Jiangsu Key Laboratory for Prevention and Management of Invasive Specie, Nanjing 210037, China)

Abstract The antennal sensilla of *Clostera anastomosis* (L.) were observed by scanning electron microscopy. The results show that the antennae of *C. anastomosis* are made up of scapus, pedicel and flagella. The outside surface of the antenna is covered with cataphylla, and most of the antennal sensilla lie on its upper and lower surfaces. Eight distinct types of sense receptors were observed in adult males and females; including sensilla trichodea, sensillum chaeticum, sensilla cavity, sensilla coeloconica, sensilla styloconica, sensilla basiconica, sensillum column and sensilla squamiformia. The type and distribution of antenna sensillum are basically the same in adult males and females but there are some differences in the number of sensilla.

Key words *Clostera anastomosis*, antennal, sensillum, ultrastructure

分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* (L.), 别名银波天社蛾、杨树天社蛾、杨叶夜蛾, 属鳞翅目, 舟蛾科, 是危害杨树的食叶害虫。分月扇舟蛾在我国主要分布在东北、华北、江苏、浙江、安徽、福建、湖南、湖北、四川、贵州、云南、陕西、甘肃和新疆等地区(刘小明等, 2010)。受害杨树轻者叶片枯黄, 树木生长受到影响, 严重者被吃光树叶, 不仅影响当年枝条木质化, 而且严重影响翌年树木的生长发育, 甚至导致树木死亡(汤纪红, 2008)。

触角作为鳞翅目昆虫最主要的感觉器官, 在其寻找生境以及各种行为方面具有重要的作用。随着电子显微镜技术的发展, 国内外已对一些鳞翅目昆虫触角的超微结构进行了研究(韩贵彪和

马瑞燕, 1996; 马瑞燕和杜家纬, 2000; 杨广等, 2001; 杨慧等, 2008a, 2008b; 向玉勇等, 2009; 高素红等, 2010), 但对舟蛾科昆虫触角感受器的研究尚未见报道。因此, 本论文对分月扇舟蛾触角感受器进行了研究, 通过探究其感受器种类、数目及分布等, 揭示触角与其行为之间的关系, 以期探索控制分月扇舟蛾的新途径提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

从南京市浦口林区采集的幼虫, 带回实验室进行培养。在恒温(25 ± 1) °C, 湿度 60% ~ 70% 条件下培养, 直到其羽化为止。待分月扇舟蛾羽化

* 资助项目: 国家自然科学基金(30972376 和 30600476)、霍英东青年教师奖(123086)。

** 通讯作者, E-mail: tangfang76@njfu.com.cn; tangfang76@sohu.com

收稿日期: 2010-11-26, 接受日期: 2011-01-20

后,选择触角完整,个体健壮的成虫进行电镜扫描。

1.2 样品的制备与观察

将成虫整个触角剪下,于室温用4%的戊二醛固定6 h,用0.1 mol/L的磷酸缓冲液冲洗3次,每次10 min,再分别用30%、50%、70%、90%、100%的乙醇进行梯度脱水,每次脱水15 min(其中100%的乙醇脱水2次)。用乙酸异戊酯处理后,放入干燥篮,用英国EMITECH K850临界点干燥仪进行干燥,将干燥好的样品用导电胶粘在样品台上,用日本日立E-1010离子溅射仪进行喷金处理(电流15 mA,2 min)。喷金后,在荷兰FEI Quanta 200环境扫描电镜下观察、拍照,加速电压为15 kV。

2 结果与分析

2.1 触角的基本结构

分月扇舟蛾的触角为双栉状,由柄节、梗节和鞭节组成,鞭节各亚节向两边突出成细枝状。雌雄成虫触角长4.5~5.0 mm。柄节、梗节均球状,柄节直径230 μm 左右,梗节直径65 μm 左右,2节上都有感器分布且周围都有密生的形状大体相似的鳞片,鳞片细长,顶端有弧形浅分叉(图1)。触角主轴表面覆盖普通鳞片,排列整齐有规律,鳞片较宽大,表面有平行的竖条纹。鞭节共42节,突出的细枝长0.1~0.9 mm,触角鞭节分枝的背面表皮排列规则(图2:A)。

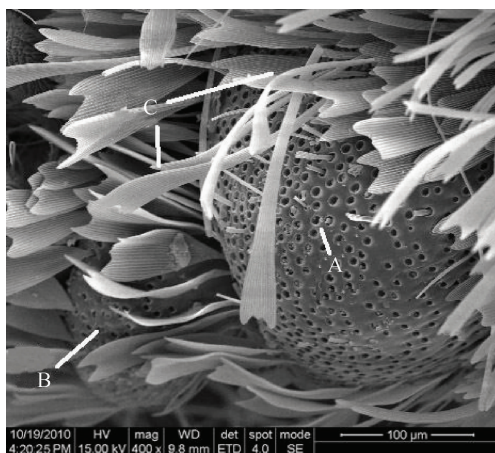


图1 触角柄节和梗节

Fig.1 Scapus and pedicel in the antennae

A:柄节 scapus; B:梗节 pedicel; C:周围鳞片 scales.

2.2 触角感器的种类、形态和分布

通过鉴定,分月扇舟蛾的触角具有8种感觉器,分别为毛形感器、刺形感器、锥形感器、腔锥形感器、腔形感器、柱形感器、栓锥感器和鳞形感器。各种感器的形状和分布如下:

2.2.1 毛形感器 (sensilla trichodea, ST) 毛形感器是触角上分布及数量占绝对优势的一种感器,着生部凹陷,大量密集于鞭节的腹面和侧面。分月扇舟蛾成虫触角上的毛形感器有长直毛形感器(ST1)、短直毛形感器(ST2)、长曲毛形感器(ST3)和短曲毛形感器(ST4)4种类型。直毛形感器与触角成锐角,感器末端稍尖,不弯曲,指向触角的末端。长直毛形感器主要分布于触角鞭节分枝顶部腹面,长度约60.0~90.0 μm ,基部直径约2.0~3.5 μm 。短直毛形感器分布在鞭节分枝腹面和侧面,几乎成线性分布,长度在9.0~12.0 μm 之间,基部直径约1.0~1.2 μm 之间。长曲毛形感器,主要分布在触角鞭节的腹面和两侧面,感器中部弯曲成弧状,长度约38.0~52.0 μm 。短曲毛形感器分布在触角鞭节上,各分支腹面较多,弯曲成“S”或从中间位置弯曲成“L”状,长度约在15.0~32.0 μm 之间,在雄蛾触角上的数量明显多于雌蛾(图2,图3:A~E)。

2.2.2 刺形感器 (sensillum chaeticum, Sch)

刺形感器成刚毛形,着生在臼状窝中,顶端钝圆,有明显的条纹。分月扇舟蛾成虫触角上有长直刺形感觉器(Sch1)、长曲刺形感觉器(Sch2)、短曲刺形感器(Sch3)3种类型。雌雄蛾成虫触角鞭节的各节都有这3种类型的刺形感器,只是,雌蛾的数量明显多于雄蛾。长直刺形感器直立于触角的表面,主要分布在触角鞭节各分支的基部,靠近梗节的2个分支除外,顶端呈钩状,长约50.0~65.0 μm 。长曲刺形感器与触角成80~90°的夹角,感器的中部稍微有点弯曲,顶端成钩状,表面有横向条纹,数量较长直刺形感器多。短曲刺形感器,外形似短刺,直立于表皮生长,基部粗,顶端弯曲,长约26.0~40.0 μm ,分布在触角鞭节腹部,数量不多(图3:C,F)。

2.2.3 腔形感器 (sensilla cavity, Sca) 分月扇舟蛾成虫触角上的腔形感觉器为直径约2.0~6.0 μm 的圆腔,外部仅见一空腔,无突出物,主要分布在柄节、梗节和触角主轴表面的鳞片旁(图3:G,L)。

2.2.4 腔锥形感器 (*sensilla coeloconica*, SC)

腔锥形感器是触角表皮下陷而形成的一个浅圆腔,中央着生感觉锥。分月扇舟蛾成虫触角上有3种腔锥形感器:类型1(SC1),这种腔锥形感觉器外形像一朵菊花,圆腔四周着生环毛,中间的感觉锥可见可不见。分月扇舟蛾雌蛾触角上的该类型感觉器主要分布在触角鞭节分支的腹部,沿分支方向成线性排列,并且逐渐变小,感觉器直径约在 $11.0 \sim 30.0 \mu\text{m}$ 之间,周围环毛3~9根不等。雄蛾触角上该类型感器主要分布在触角鞭节背面顶端三四个分支的上部,每个分支上有3~4个,大小基本相同,直径在 $7.4 \sim 10.0 \mu\text{m}$ 之间,环毛5~7根,较雌蛾的要小。类型2(SC2),感器圆形腔中央有一个稍微突出到外面的感觉锥,扁平状,顶端成钝角状缺刻,基部宽 $4.0 \mu\text{m}$ 左右,主要分布在雄蛾柄节上,雌蛾触角上没有发现。类型3(SC3),该感器中央的感觉锥是一个锥状的突起,基部粗大,顶端圆钝,没有突出圆腔,主要分布在触角的柄节、梗节上,鞭节上没有发现,雄蛾触角上的数量稍多(图3:C,D,G,H,I)。

2.2.5 栓锥形感器 (*sensilla styloconica*, SST)

栓锥形感器是触角表皮凹陷形成的圆腔,圆腔中间有感觉锥且突出表面,感觉锥的形状有多种。分月扇舟蛾成虫触角上有2种该感觉器。类型1(SST1),圆腔外观似腔形感器,中间有感觉锥且较为粗大,基部直径在 $4.0 \sim 5.0 \mu\text{m}$ 左右,长 $24.0 \sim 35.0 \mu\text{m}$,呈圆筒状,表面有明显的竖条纹,较深,顶端有褶皱并向一起靠拢。类型2(SST2),该类型的感觉锥成圆筒状,表面有竖条纹,不是很明显,顶端没有褶皱,成波浪缺刻。较第1种类型细长,长度在 $12.0 \sim 14.0 \mu\text{m}$,基部直径 $2.5 \sim 4.0 \mu\text{m}$ 左右。该2种类型的感器均分布在触角的柄节上,其他部位没有发现。雄蛾触角上该种感器的数量多于雌蛾(图3:G)。

2.2.6 锥形感器 (*sensilla basiconica*, SBa) 主要分布在触角的腹部和主轴的表面,直立或微弯曲,几近垂直于触角表面,着生在臼状窝中,基部较粗大,顶端圆钝且有锥形的小突起,长度约在 $5.0 \sim 6.0 \mu\text{m}$,基部直径 $1.8 \sim 2.2 \mu\text{m}$ 。数量不多,雌蛾明显多于雄蛾(图3:J,K)。

2.2.7 柱形感器 (*sensillum cylindric*, SCY) 柱形感器成圆柱状,较直,端部圆钝,壁上有明显的竖脊,与触角成锐角,基部着生在臼状窝中,数量

较少,主要分布在触角鞭节分支的上部,有长柱状(SCY1)和短柱状(SCY2)2种。长柱状感器长 $20.0 \sim 38.0 \mu\text{m}$,基部直径 $3.0 \sim 3.8 \mu\text{m}$ 。短柱状感器长 $10.0 \mu\text{m}$ 左右,基部直径 $2.0 \sim 2.5 \mu\text{m}$,在该感器的顶端有一小的突起(图3:B,E,K)。

2.2.8 鳞形感器 (*sensilla squamiformia*, SQ)

分月扇舟蛾成虫触角上鳞形感器有2种类型:类型1(SQ1)与触角主轴表面覆盖的鳞片形状相似,都是基部窄,端部较宽,只是该类型的鳞形感器较窄,着生在臼状窝中,主要分布在触角主轴表面,在普通鳞片的下部或靠近普通鳞片处,长度在 $30.0 \sim 60.0 \mu\text{m}$ 左右,最宽处约 $4.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$ 之间,数量不多。类型2(SQ2)较细长,基部较细,着生在臼状窝内,端部尖细,中间部分较宽。表面有明显的竖条纹,长度在 $50.0 \sim 100.0 \mu\text{m}$ 之间,中部宽 $4.0 \mu\text{m}$ 左右,主要分布在触角柄节上,且雌蛾数量明显多于雄蛾(图3:G,I)。

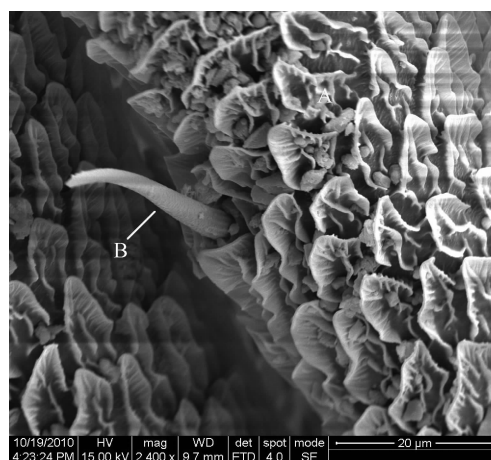


图2 鞭节分支表皮结构和毛形感器

Fig.2 Surface structure and sensilla trichodea on flagella branches

A:触角表皮结构 surface structure of antennae;B:短曲毛形感器(ST4) short and curve sensilla trichodea(ST4).

2.3 雌雄差异

分月扇舟蛾雌雄触角形状相似,都是双栉状,只是雄蛾触角分支比雌蛾要长,双栉状非常明显。触角表面覆盖的普通鳞片,雄蛾的明显多于雌蛾。鞭节分支表面上的小鳞片,雌蛾比雄蛾的要宽大。雄蛾触角上的毛形感器数量明显多于雌蛾,而锥形感器则少于雌蛾。腔锥形感器的第2种类型只

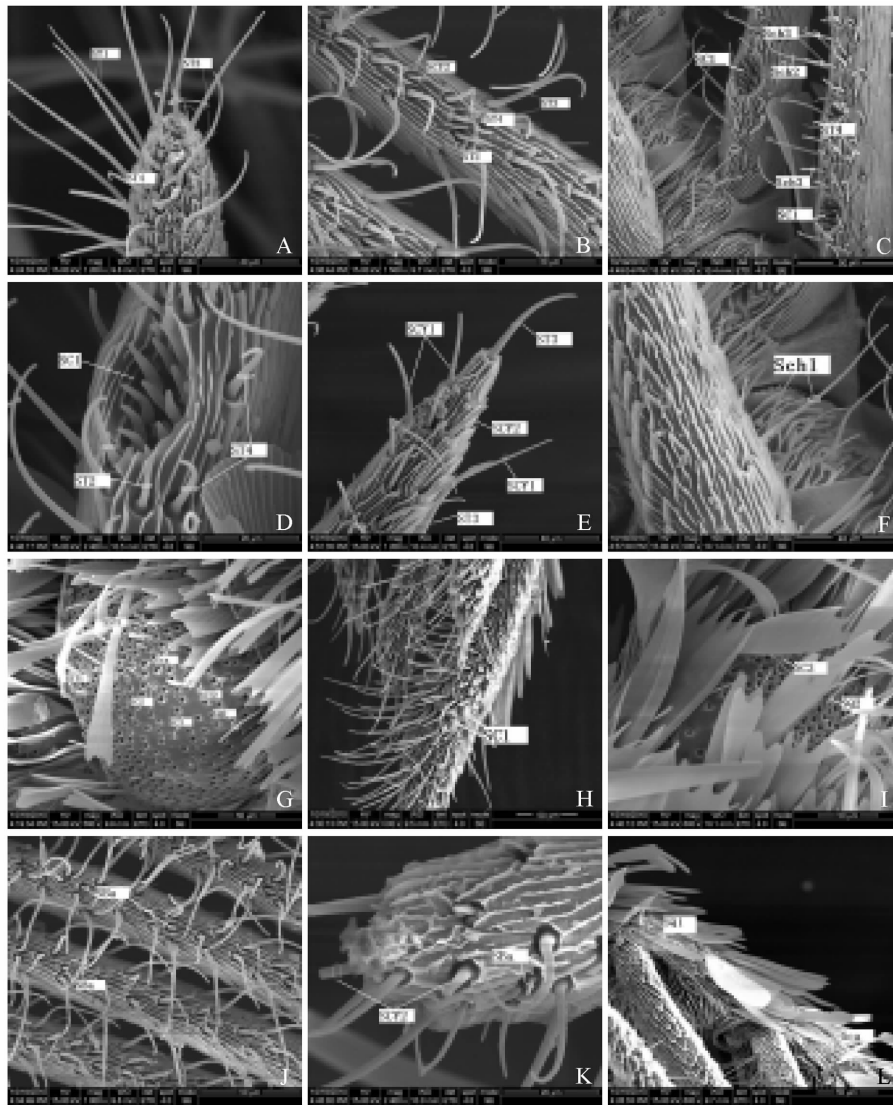


图3 分月扇舟蛾雌、雄成虫触角感觉器

Fig. 3 Sensillas in the antenna of female and male adult in *Clostera anastomosis*

A: 雄蛾触角鞭节顶端感器 sensillas on the top of the flagella of male moth antenna; B: 雄蛾触角鞭节部分感器 sensillas on the flagella of male moth antenna; C: 雌蛾触角鞭节感器 sensillas on the flagella of female moth antenna; D: 雌蛾触角鞭节感器 sensillas on the flagella of female moth antenna; E: 雌蛾鞭节分支顶部感器 sensillas on the top of the flagella branches of female moth antenna; F: 雌蛾触角鞭节基部感器 sensillas on the end of the flagella of female moth antenna; G: 雄蛾柄节感器 sensillas on the scapus of male moth antenna; H: 雄蛾触角鞭节分支上的腔锥形感器分布 distribution of sensilla coeloconica on the flagella of male moth antenna; I: 雌蛾柄节感器 sensillas on the scapus of female moth antenna; J: 雄蛾鞭节锥形感器分布 distribution of sensilla basiconica on the flagella of male moth antenna; K: 雌蛾鞭节分支顶部感器 sensillas on the top of flagella branches of female moth antenna; L: 雄蛾鞭节感器 sensillas on the flagella of male moth antenna.

ST1: 长直毛形感器 long and straight sensilla trichodea; ST2: 短直毛形感器 short and straight sensilla trichodea; ST3: 长曲毛形感器 long and curve sensilla trichodea; ST4: 短曲毛形感器 short and curve sensilla trichodea; Sch1: 长直刺形感器 long and straight sensillum chaeticum; Sch2: 长曲刺形感器 long and curve sensillum chaeticum; Sch3: 短曲刺形感器 short and curve sensillum chaeticum; Sca: 腔形感器 sensilla cavity; SC1、SC2、SC3: 腔锥形感器 sensilla coeloconica; SST1、SST2: 栓锥形感器 sensilla styloconica; SBA: 锥形感器 sensilla basiconica; SCY1: 长柱形感器 long sensillum cylindric; SCY2: 短柱形感器 short sensillum cylindric; SQ1、SQ2: 鳞形感器 sensilla squamiformia.

存在于雄蛾的柄节上。鳞形传感器的第 2 种类型,雄蛾的数量少于雌蛾。

3 讨论

已经报道的鳞翅目昆虫触角传感器的种类有 10 余种,本研究共观察到 8 种传感器,其形态、结构与其他鳞翅目昆虫大体相似,如:分月扇舟蛾触角上的栓锥形传感器的第 1 种类型、鳞形传感器的第 2 种类型和棒状传感器等与菜粉蝶触角上的相似(吴利民等,2009),腔锥形传感器第 1 种类型与棉铃虫(王桂荣等,2002)、甜菜夜蛾(徐进等,2009)、烟实夜蛾(李坤等,2006)触角上的相似。另外 2 种是无缘毛腔锥形传感器,在虫草蝠蛾触角的传感器中有提到(李朝达等,1994)。只是,在分月扇舟蛾触角上没有发现端毛现象(莫圣书和赵冬香,2006)。分月扇舟蛾触角的传感器主要集中在柄节、鞭节,梗节上散生一些鳞片。鞭节上的传感器种类和数量占绝对优势。

昆虫通过传感器与其周围环境中的各种信息发生联系,这种联系可使昆虫感知来自种内和种间以及生境中的各种化学、物理的变化,进而做出相应的行为反应,寻找适宜的寄主食物、配偶和最佳生存场所等,使种群得到不断繁衍和发展(娄永根和程家安,2001)。本论文对分月扇舟蛾触角的形态特征、感受器类型、分布特点和着生规律进行了研究,为今后利用信息素防治分月扇舟蛾打下了基础,但各感受器在该成虫上的实际功能和作用等问题还有待于作进一步的深入研究。

致谢:在本项目的研究过程中得到了南京林业大学分析测试中心电镜室杨静博士和徐柏森教授的相关试验技术指导,在此表示感谢!

参考文献 (References)

- 高素红,吉志新,王长青,秦素萍,赵春明,余金咏,2010. 中华微蛾的触角传感器的扫描电镜观察. 安徽农业科学, 38(7):3499—3502.
- 韩贵彪,马瑞燕,1996. 黄斑长翅卷蛾触角感觉器的扫描电镜研究. 林业科学研究, 9(3):300—304.
- 李朝达,杨大荣,杨跃雄,舒畅,1994. 虫草蝠蛾触角感觉器的扫描电镜观察. 昆虫学报, 37(1):59—62.
- 李坤,罗梅浩,赵国强,刘晓光,2006. 烟实夜蛾触角传感器的超微结构观察. 河南农业大学学报, 40(3):250—253.
- 刘小明,庄庆美,于健,赵连吉,2010. 分月扇舟蛾生物学特性及防治. 吉林林业科技, 39(1):53—56.
- 娄永根,程家安,2001. 昆虫的化学感觉机理. 生态学杂志, 20(2):66—69.
- 马瑞燕,杜家纬,2000. 昆虫的触角传感器. 昆虫知识, 37(3):179—182.
- 莫圣书,赵冬香,2006. 芒果横线尾夜蛾触觉感觉器扫描电镜观察. 华东昆虫学报, 15(2):96—98.
- 汤纪红,孙兴全,叶黎红,顾国林,裴峰,2008. 杨分月扇舟蛾、杨扇舟蛾发生危害和防治技术研究. 安徽农学通报, 14(24):124—125.
- 王桂荣,郭予元,吴孔明,2002. 棉铃虫触角传感器的超微结构观察. 中国农业科学, 35(12):1479—1482.
- 吴利民,吕文彦,原国辉,娄国强,张中印,郭线茹,罗梅浩,2009. 菜粉蝶触角传感器的扫描电镜观察. 河南农业大学学报, 43(4):421—425.
- 向玉勇,杨茂发,李子忠,2009. 小地老虎雄蛾触角感受器的扫描电镜观察. 四川动物, 28(3):391—393.
- 徐进,李怡萍,成卫宁,宋月芹,仵均祥,孙会忠,贾晖,2009. 甜菜夜蛾触角传感器的种类与分布的形态学研究. 西北农林科技大学学报, 36(1):189—193.
- 杨广,黄桂诚,尤民生,2001. 小菜蛾触角的显微结构及其作用. 福建农业大学学报, 30(1):75—79.
- 杨慧,严善春,彭璐,2008a. 兴安落叶松鞘蛾触角及其传感器的扫描电镜观察. 昆虫知识, 45(3):405—417.
- 杨慧,严善春,李杰,高璐璐,2008b. 落叶松重要枝梢害虫松瘿小卷蛾触角传感器的超微结构. 林业科学, 44(2):93—99.