

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.20240014

蔗根土天牛成虫口器的超微结构

刘长泰¹, 管凯华², 佟心^{1*}

¹广西大学农学院, 广西农业环境与农产品安全重点实验室, 广西南宁 530004;

²广西国有高峰林场, 广西南宁 530004

摘要:【目的】蔗根土天牛是重要农林业害虫。然而, 蔗根土天牛成虫几乎不取食, 其口器结构和感器与成虫期取食的其他天牛是否存在差异亟需开展研究。探明其成虫口器各结构形态及其感器的分布特点, 有利于更好地理解天牛的感受机制。【方法】利用扫描电镜观察了蔗根土天牛成虫口器的超微结构, 并分析了感器的种类、形态和分布。【结果】蔗根土天牛成虫口器由上唇、上颚、下颚、下唇和唇舌 5 部分组成, 但唇舌及下颚须的内颚叶、外颚叶发生严重退化; 上颚背面有大量毛形感器分布, 内唇仅有锥形感器 1 一种类型; 下颚须、下唇须是感器分布最广、数量最多的区域, 存在毛形感器、毛板、板形感器、腔锥形感器、锥形感器 5 种感器类型, 其中毛形感器有 2 种亚型, 锥形感器有 5 种亚型。【结论】蔗根土天牛成虫因不取食, 口器很多结构发生退化。感器类型与具有取食习性的天牛相似, 但内唇感器、下颚须及下唇须表面 ST 数量明显较少, 下颚须及下唇须端部感器数量较多。研究结果为进一步探明天牛口器的功能形态及感受机制提供基础性资料。

关键词: 蔗根土天牛; 昆虫口器; 扫描电镜; 超微结构; 感器功能



开放科学标识码
(OSID 码)

Mouthpart structure and sensilla of the adult of *Dorysthenes granulosis* (Thomson) (Coleoptera: Cerambycidae)

LIU Changtai¹, GUAN Kaihua², TONG Xin^{1*}

¹Guangxi Key Laboratory of Agro-environment and Agric-products Safety, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China; ²Guangxi Gaofeng State Owned Forest Farm, Nanning, Guangxi 530004, China

Abstract: 【Aim】*Dorysthenes granulosis* is an important agricultural and forestry pest. However, the *D. granulosis* adults hardly feed. It is urgent to study whether there is any difference in the mouthpart structure and sensilla between the *D. granulosis* adults and the adult longhorn beetles that need feeding. It is beneficial to better understand the sensory mechanism of longhorn beetles by exploring the structural morphology of its mouthparts and the distribution characteristics of sensilla. 【Method】In this study, the ultrastructure of the mouthparts of the adult *D. granulosis* was observed by scanning electron microscope, and the type, morphology, and distribution of the sensilla were analyzed. 【Result】The mouthparts of the adult *D. granulosis* were composed of five parts: the labrum, mandibles, maxilla, labium, and ligula. The ligula, lacinia, and gelea of the maxilla were seriously degraded. A large number of sensilla trichodea (ST) were distributed on the dorsal side of the mandibles, and only one type of sensilla basiconca 1 (SB1) was found on the epipharynx. Maxillary and labial palps had the widest distribution and the largest number of sensilla. There were five types of sensilla: sensilla trichodea (ST), hair plate (HP), sensilla placodea (SP), sensilla coeloconica (SCo) and sensilla basiconca (SB). There were two subtypes of ST and five subtypes of SB. 【Conclusion】Due to non-feeding, many structures of the mouthparts of the *D. granulosis* are degraded. The sensilla type is similar to that of longhorn beetles with feeding habits. The number of sensilla on the epipharynx and the STs on the surface of the maxillary and labial palps are significantly lower, and there are more sensilla on the ends of the maxillary and labial palps. This study will provide basic data for further understanding the functional morphology of the mouthparts and the sensory mechanism of longhorn beetles.

Key words: *Dorysthenes granulosis*; insect mouthparts; scanning electron microscopy; ultrastructure; function of sensilla

收稿日期 (Received): 2024-01-24 接受日期 (Accepted): 2024-04-30

基金项目: 国家自然科学基金(32200361)

作者简介: 刘长泰, 男, 硕士研究生。研究方向: 农业有害生物综合防控。E-mail: 13833952976@163.com

* 通信作者 (Author for correspondence), 佟心, E-mail: tongxin@gxu.edu.cn

口器是昆虫重要的进食和感觉器官,不同昆虫的口器由于长期进化而表现出不同的形态(李莎等, 2013; Bernays & Chapman, 2001; Chapman, 2003),比如,飞蝗、玉米象等咀嚼式口器昆虫具有发达的上颚,用于切割和咀嚼食物(Chen *et al.*, 2016; Jin *et al.*, 2006),而烟粉虱、棉蚜等吸收式口器昆虫的上颚和下颚特化为口针来吮吸植物汁液(Chu *et al.*, 2007; Xue *et al.*, 2009)。随着电镜技术的发展,许多昆虫口器的超微结构已被报道(Hao *et al.*, 2019; Hu *et al.*, 2020)。

天牛科昆虫是重要的农林业害虫,具有典型的咀嚼式口器(Lazarev, 2020),它们的成虫大多通过口器上的味觉感器识别寄主,进而开始取食、交配、产卵,留下幼虫钻蛀为害。不同天牛之间感觉器的类型、分布和数量存在差异(Chen *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2018)。然而,之前的研究大多关注成虫期取食的天牛的口器特点,较少涉及成虫期不取食天牛的口器研究(Chen *et al.*, 2018; Liu & Tong, 2023a, 2023b; Zhang *et al.*, 2018)。

蔗根土天牛 *Dorystenes granuloso* (Thomson) (Coleoptera, Cerambycidae, Prioninae) 成虫期缺乏取食行为,主要以幼虫寄居土中危害作物根茎基部。该虫广泛分布于印度、缅甸等国家,以及我国广西、海南等省(区)(于永浩等, 2020)。每 2 年发生一代,寄主植物包括甘蔗 *Saccharum sinensis* Roxb.、沙田柚 *Citrus maxima* (Burm.) Merr. cv. Shatian Yu、柑橘 *Citrus reticulata* Blanco、剑麻 *Agave sisalana* Perr. ex Engelm 等十种植物(陈青等, 2012; 李江平等, 2017)。幼虫隐蔽为害,成虫体壁坚厚,耐药力、生殖力强,种群增长稳定,还可较远距离扩散为害,不易防治(于永浩等, 2012)。近年来,蔗根土天牛暴发成灾,对生态安全及农林经济造成了巨大威胁(Zhou *et al.*, 2020)。针对蔗根土天牛的研究大多集中于产卵习性、危害性状和综合防治技术等方面(于永浩等, 2020; Wickham *et al.*, 2016),尚未有对蔗根土天牛成虫口器结构及其感器形态、功能的相关研究。

本研究采用扫描电镜技术对蔗根土天牛成虫口器开展形态学研究,进一步推测各结构及其感器的功能,以期日后阐明蔗根土天牛选择性交配、产卵、定位寄主机制以及电生理技术等提供基础性资料,为定制更为科学精准的绿色防治方法提供理

论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2023 年 5 月于广西玉林市容县(东经 110°15′—110°53′, 北纬 22°27′—23°07′)采集刚出土的蔗根土天牛成虫。挑选形态完好且同性别体型相当的成虫,置于 75%酒精中固定用于后续观察。

1.2 扫描电镜观察

将解剖完成的蔗根土天牛成虫口器各结构浸泡在 0.1 mol · L⁻¹ 的 PBS 缓冲液(pH7.4)中,用超声波清洗仪(Skymen, JP-010 型)洗涤 5~8 min。洗涤完成后分组放在 75%酒精中保存,然后对其进行脱水处理。分别将样本置于 80%、90%、100% 3 个浓度梯度的酒精中各自浸没脱水 15 min,然后再分别将样本置于 25%、50%、75%、100% 浓度梯度的叔丁醇溶液中各自浸没脱酒精 15 min。取出样品,置于干燥的培养皿中,干燥处理 8 h 以上。处理好的样品分别用导电胶将其固定于样品台面,用离子溅射仪(Cressington, 108auto 型)进行喷金处理,使用扫描电子显微镜(FEI, Quattro S 型)置于 15 kV 电压下观察、拍照。

1.3 感器命名与数据分析

观察到的感受器类型参考王晓燕(2020)、Schneider (1964)和 Wang *et al.* (2012)的命名系统进行命名。相关数据采用 SPSS 19.0 软件进行 *t* 检验分析。

2 结果与分析

2.1 口器的整体形态

蔗根土天牛成虫的口器为典型的咀嚼式口器(图 1A),由上唇(labrum)、上颚(mandible)、下颚(maxilla)、下唇(labium)和唇舌(ligula) 5 部分组成。背面观清晰可见上唇和上颚 2 个结构(图 1B),其中,上唇是盖于上颚前面的薄片(图 1B),内唇位于上唇的内表面。成对的上颚是极其发达的骨化结构,位于上唇之后(图 1B)。腹面观可见下颚、下唇和唇舌 3 个结构(图 1C),其中,下颚是一对位于上颚之后下唇之前的分节结构,包括轴节、茎节、负颚须节、内颚叶、外颚叶、下颚须几部分,下颚须发达,共 4 节。下唇同样为分节结构,位于下颚后面,包括亚颚、颚、前颚、和下唇须,下唇须共 3 节。唇舌位于下唇的前缘中部位置,微凹。

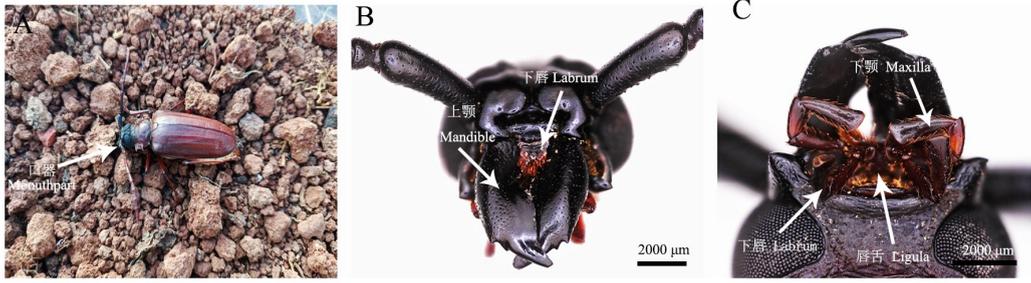


图 1 蔗根土天牛成虫口器的结构

Fig.1 Mouthpart structure of adult *D. granulosus*

A: 蔗根土天牛雌虫生态照; B: 口器背面观; C: 口器腹面观。

A: Habitus photo of female *D. granulosus*; B: Dorsal view of mouthpart; C: Ventral view of mouthpart.

2.2 口器各部分超微结构及感器形态

蔗根土天牛雌雄成虫口器各结构形态类似,大小存在差异。口器感器的种类和分布在雌雄间基本相同,感器数量在雌雄间有差异,主要分布在上

颚、内唇(epipharynx)、下颚须(maxillary)和下唇须(labial palps)。其中,下颚须和下唇须是感器分布最广、数量最多的区域(表 1)。

表 1 蔗根土天牛成虫口器感器的形态特征

Table 1 Morphological characteristics of sensilla on the mouthparts of adult *D. granulosus*

感器类型 Sensilla type	着生部位 Organ	外壁 Wall	顶端 Tip	形状 Shape	基座 Socket	
锥形感器 Sensilla basiconca	SB1	EP, MP, LP	光滑 Smooth	有孔 Hole	宽松 Wide	
	SB2	MP, LP	光滑 Smooth	裂开 Chapped	不明显 Unconspicuous	
	SB3	MP, LP	光滑 Smooth	小锥 Bradawl	不明显 Unconspicuous	
	SB4	MP, LP	光滑 Smooth	钝 Blunt	略弯 Bent slightly	
	SB5	MP, LP	光滑 Smooth	钝 Blunt	直 Straight	宽松 Wide
毛形感器 Sensilla trichodea	ST1	MA, MP, LP	浅纹 Shallow grain	尖 Sharp	略弯 Bent slightly	宽松 Wide
	ST2	MP, LP	浅纹 Shallow grain	尖 Sharp	略弯 Bent slightly	宽松 Wide
毛板 Hair plate	HP	MP, LP	光滑 Smooth	尖 Sharp	直 Straight	宽松 Wide
板型感器 Sensilla placodea	SP	MP, LP	光滑 Smooth	钝 Blunt	平 Flat	宽松 Wide
腔锥形感器 Sensilla coeloconica	SCo	MP, LP	光滑 Smooth	有孔 Hole	直 Straight	宽松 Wide

EP: 内唇; MP: 下颚须; LP: 下唇须; MA: 上颚。

EP: Epipharynx; MP: Maxillary palps; LP: Labial palps; MA: Mandible.

2.2.1 上颚 蔗根土天牛成虫有强而有力的上颚,切齿尖锐,无小齿。雄虫的上颚[长(5352.35 ± 39.49) μm,宽(2183.86 ± 38.34) μm]较雌虫[长(4882.72 ± 38.88) μm,宽(2175.68 ± 19.90) μm]发达,在雌雄成虫上颚的背面具浓密刻点(图 2A),有数量较多的毛形感器(sensilla trichodea, ST) ST1 分布(图 2C),ST1 表面有浅纹状条纹,基座宽松。上颚腹面几乎光滑,ST1 分布较少(图 2B)。

2.2.2 上唇和内唇 蔗根土天牛的上唇近椭圆形,前缘微凹,前缘中部有少量长刚毛覆盖(图 2D)。内唇位于上唇的内表面,中央脊状突起区域近端部 1/2 区域被密集排列的长刚毛覆盖(图 2E)。中央脊状突起区域中部近 1/2 位置逐渐变得光滑无毛,此区域有少量锥形感器(sensilla basiconca, SB) SB1 分布(图 2E),且两侧有微毛分布。脊状区域

的基部两侧位置也发现 SB1(图 2E)。SB1 基窝宽松,端部有一个明显的顶孔(图 2F)。

2.2.3 下颚 蔗根土天牛成虫的下颚由轴节(cardo)、茎节(stipes)、负颚须节(palpifer)、内颚叶(lacinia)、外颚叶(gelea)、下颚须组成(图 3B)。轴节位于最基部,呈长三角形;茎节以膜与轴节相连,可稍折动,光滑,两侧分布有刚毛,刚毛长度与负颚须节上的相近;负颚须节光滑,腹面分布几根长刚毛;外颚叶退化为细条状,端部和两侧着生较多刚毛且毛序比较杂乱;内颚叶发生严重退化,其上有少量刚毛分布。

蔗根土天牛成虫的下颚须为 4 节(图 3A),雄虫 I、II、III、IV 节长度分别为(635.22 ± 4.79)、(1396.07 ± 7.60)、(1143.24 ± 15.85)、(1699.35 ± 31.48) μm,基宽分别为(253.94 ± 3.27)、(466.31 ± 4.95)、(457.07 ±

6.27)、(448.05±4.41) μm ,雌虫I、II、III、IV节长度分别为(665.06±6.85)、(1542.11±5.57)、(1213.86±31.16)、(1637.15±9.01) μm ,基宽分别为(267.40±5.71)、(474.98±5.05)、(519.97±4.86)、(549.95±7.36) μm ,其中第IV节最长且在雌雄间无显著差异,在下颚须的节间有光滑无毛区域(图3C)。

下颚须表面分布有ST1、ST2、毛板(hair plate, HP)、板型感器(sensilla placodea, SP)、腔锥形感器(sensilla coeloconica, SCo)(图4、5)。其中,ST1、ST2是分布最广的2种感器类型,在各节均有分布(图4A)。ST1、ST2表面浅纹状条纹,基部有较浅的关节窝,基部至端部逐渐变细。2种亚型整体形态相近,但ST1较ST2明显更加细长,且ST2着生于近侧面位置(图4A)。HP仅在基部第一节有分布且分布比较集中,外壁光滑,顶端尖,基座宽松(图4B)。SP只分布于端部一节的顶端侧面位置,其着生在纵长形的凹穴中,外壁呈现为板状,上面有纵纹,具嗅孔且壁薄(图4C)。SCo在下颚须末节近端部位置上有零星散状分布,其外壁光滑,顶端钝,形状为圆钝突起,基座宽松,有顶孔(图4D)。

蔗根土天牛成虫的下颚须第IV节棒状(图5A),端部分布有5种亚型的SB感器(图5)。端部的SB1形态与内唇上的相似,其表面光滑,基座宽松,端部有顶孔,此种感器数量极少,仅稀疏分布于

端部外侧位置(图5C);SB2端部边缘呈裂开的指状,端部有孔,外壁光滑,整体形状直立,基座不明显(图5D);SB3端部钝且有明显的小锥状凸起,小锥的端部有顶孔,外壁光滑,形状直立,基座不明显(图5E);SB4表面光滑,端部无孔,整体略弯,基座不明显(图5F);SB5形如帽子,表面光滑,基座宽松,基座上方的锥体长而钝,端部无孔(图5G)。

2.2.4 下唇和唇舌 蔗根土天牛成虫的下唇主要包括亚颚、颚、前颚、下唇须(图3E)。亚颚近梯形,表面光滑无毛(图3E);颚梯形,光滑,基部两侧位置有细长的刚毛(图3E);前颚中部较光滑,两侧分布有长刚毛(图3E)。下唇须3节(图3D),第III节最长,为棒状(图5B)。雄虫下唇须I、II、III节长度分别为(582.01±11.93)、(1567.93±8.13)、(2025.49±15.55) μm 、基宽分别为(377.24±3.70)、(487.88±5.09)、(596.94±6.13) μm ,雌虫下唇须I、II、III节长度分别为(503.68±5.31)、(1535.29±9.84)、(1973.56±25.60) μm 、基宽分别为(304.06±3.58)、(512.91±7.32)、(620.42±7.02) μm ,第III节的长度在雌雄间无显著差异,下唇须各节分布的感器形态与下颚须上的感器形态均相近,但数量存在一定差异。蔗根土天牛唇舌发生退化,前缘微凹,有稀疏长刚毛,未发现感器存在(图3F)。

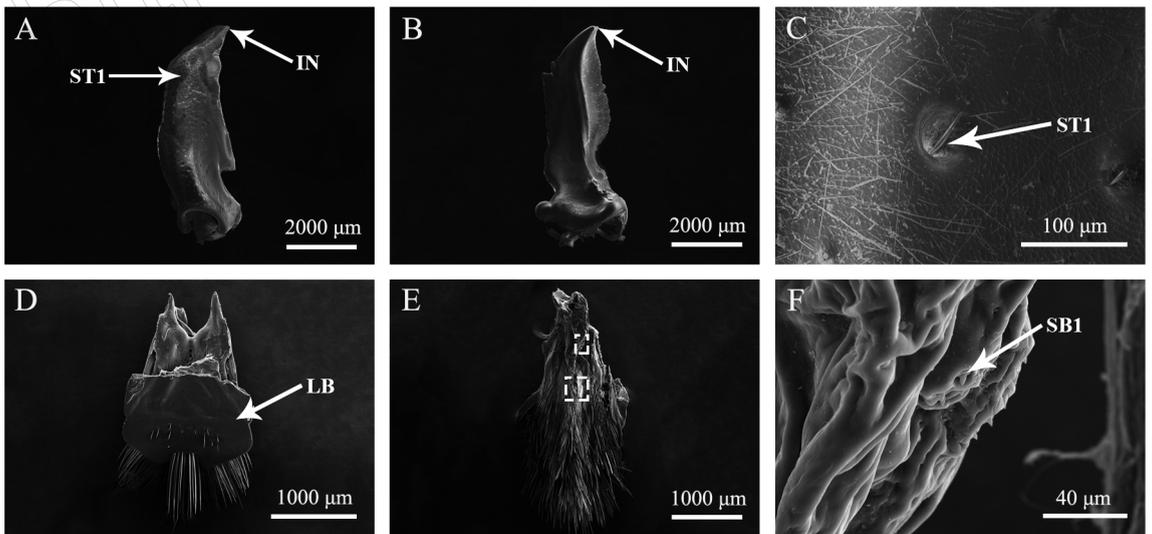


图 2 蔗根土天牛上颚、上唇及内唇形态

Fig.2 The morphology of mandible, labrum and epipharynx of adult *D. granulosus*

- A: 雄虫上颚背面; B: 雄虫上颚腹面; C: 上颚表面的感器; D: 上唇; E: 内唇(虚框示感器分布区域); F: 内唇表面的感器;
ST: 毛形感器; IN: 切齿; LB: 上唇; SB: 锥形感器。
- A: Mandible of males, dorsal view; B: Mandible of males, ventral view; C: Sensilla on the surface of mandible; D: Labrum;
E: Epipharynx, dotted boxes showing the area that the sensilla are distributed; F: Sensilla on the surface of epipharynx;
ST: Sensilla trichodea; IN: Incisor; LB: Labrum; SB: Sensilla basiconca.

3 讨论与结论

口器感器的类型和形态在不同昆虫间不尽相同,即便是在天牛科内部也有较大差异(Chen *et al.*, 2018; Liu & Tong, 2023b; Zhang *et al.*, 2018)。

蔗根土天牛成虫的口器整体结构与大多数鞘翅目昆虫相似(钱路兵等, 2022; Li *et al.*, 2021; Pervez *et al.*, 2022)。

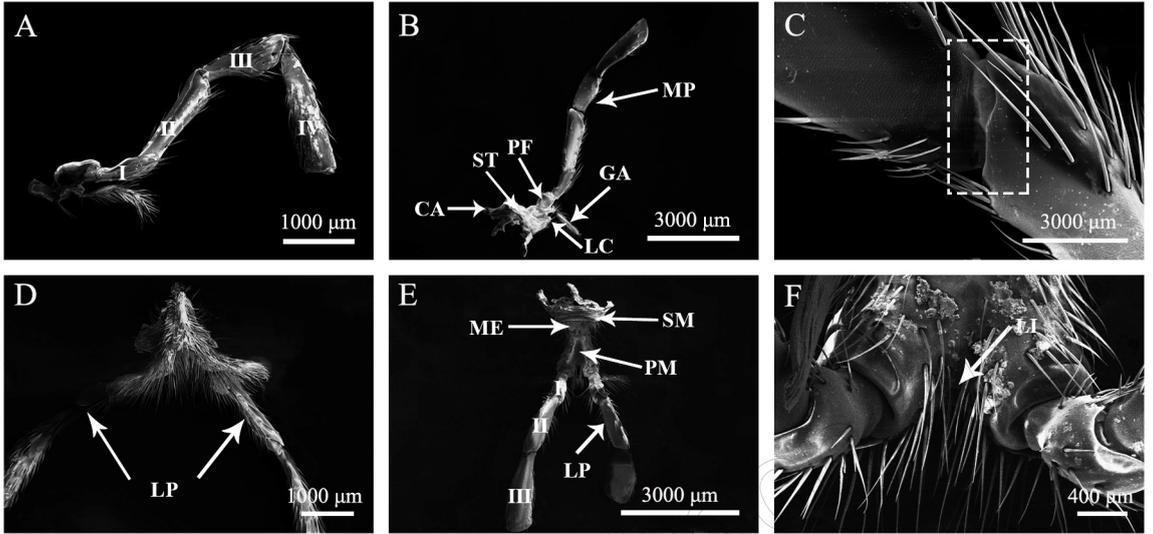


图3 蔗根土天牛下颚、下唇及唇舌形态

Fig.3 The morphology of maxilla, labium and ligula of adult *D. granulosus*

A: 下颚背面; B: 下颚腹面; C: 下颚须、下唇须节间的光滑区域; D: 下唇背面; E: 下唇腹面; F: 唇舌; CA: 轴节; ST: 茎节; PF: 负颚须节; LC: 内颚叶; GA: 外颚叶; SM: 亚颚; ME: 颚; PM: 前颚; LI: 唇舌。

A: Maxilla, dorsal view; B: Maxilla, ventral view; C: Smooth area between the maxillary and labial palps; D: Labium, dorsal view; E: Labium, ventral view; F: Ligula; CA: Cardo; ST: Stipes; PF: Palpifer; LC: Lacinia; GA: Gelea; SM: Submentum; ME: Mentum; PM: Prementum; LI: Ligula.

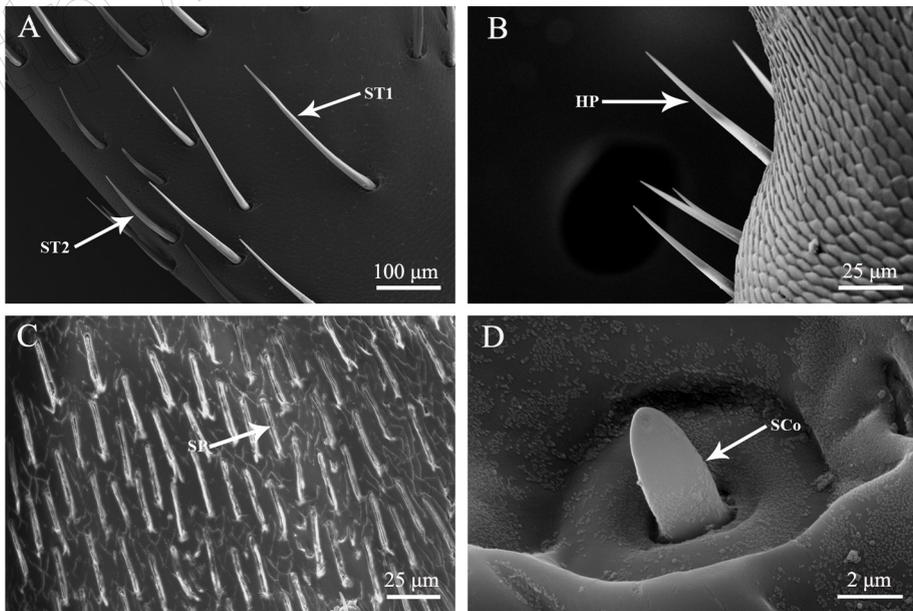


图4 蔗根土天牛下颚须、下唇须各节表面感器

Fig.4 The sensilla on the surface of each segment of the maxillary and labial palps of adult *D. granulosus*.

A: 毛形感器2个亚型; B: 毛板; C: 板型感器; D: 腔锥形感器; ST: 毛形感器; HP: 毛板; SP: 板型感器; SCo: 腔锥形感器。
A: Two subtypes of sensilla trichodea; B: Hair plate; C: Sensilla placodea; D: Sensilla coeloconica; ST: Sensilla trichodea; HP: Hair plate; SP: Sensilla placodea; SCo: Sensilla coeloconica.

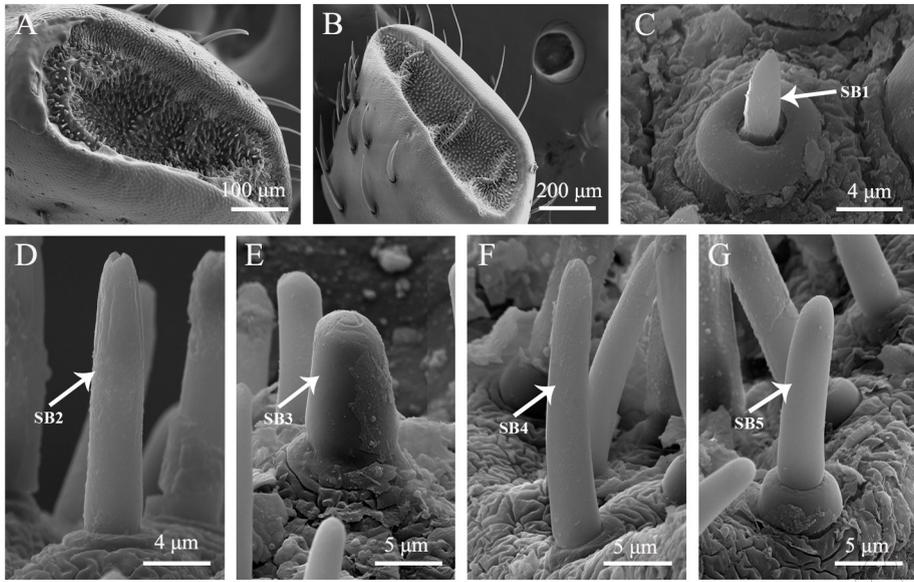


图 5 蔗根土天牛下颚须、下唇须末节端部感器

Fig.5 The sensilla on the apex of the last segment of the labial and maxillary palps of adult *D. granulosis*.

A: 雌虫下颚须末节端部; B: 雄虫下唇须末节端部; C~G: 锥形感器 1~5。

A: Apex of the last segment of maxillary palps of female; B: Apex of the last segment of labial palps of male; C-G: Sensilla basiconca 1-5.

沟胫天牛亚科昆虫上颚切齿钝,与昆虫成虫阶段需要长期取食有关(闫晓燕等,2018),而蔗根土天牛的上颚长且切齿尖锐,可能与锯天牛亚科成虫阶段不取食有关(Craighead,1915)。其次,蔗根土天牛雄虫的上颚结构比雌虫的发达,可能和雄性间的交配竞争有关,雌性选择推动了雄性上颚的进化,并有助于其在交配过程中争夺交配的优先权(Napp,1994)。ST在上颚一般单独存在,如短毛切梢小蠹 *Tomicus brevipilosus* (Eggers) (钱路兵等,2022)和巩特浆角蚜小蜂 *Eretmocerus gunturiensis* Hayat (贾志飞等,2023),在一些鳞翅目昆虫中还被证实有感受性信息素的作用(Hansson *et al.*,1995)。蔗根土天牛的上颚分布大量的ST1,可能对其交配中定位配偶起辅助作用。

上唇是很多昆虫感器密集分布区域,如灰茶尺蠖 *Ectropis griseascens* Warren 内唇有刺形感器和指形感器(张方梅等,2019),中华蚊蝎岭 *Bittacus sinensis* Walker 内唇端部的感器主要有刺形感器、锥形感器、指形感器和掌状感器(黄晶等,2011)。化学感受器外部的的主要形态特征是具有壁孔(嗅觉感器)或顶孔(味觉感器)(Zacharuk,1980)。SB1有顶孔,认为是一种化学感受器。桑黄星天牛 *Psacotha hilaris* (Pascoe)的内唇有4种数量的感器,这是内唇感器类型首次在天牛科被报道(Liu & Tong,2023a)。蔗根土天牛的内唇仅分布少量的SB1,由

于蔗根土天牛成虫不取食,其内唇上的感器类型单一,数量少,与具备取食习性的昆虫形成鲜明对比。

下颚和下唇是昆虫重要的感受器官,密布具有味觉感受功能的感受器(Hall *et al.*,2019)。这些味觉感受器负责接受多种刺激,具有寻找寄主、定位配偶等重要功能(Hu *et al.*,2020)。同种昆虫下颚须、下唇须分布的感器类型大多相同(Liu & Tong,2023b)。蔗根土天牛的下颚须与下唇须感器类型与其他天牛类似,但没有发现刺形感器。蔗根土天牛大多数感器集中分布在下颚须和下唇须上,且感器类型相同,仅在数量上有差异。

ST本身在形态上存在差异,如黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter 的毛形感器分成2种亚型(张玉丹等,2018)。ST在许多昆虫中具有感知机械刺激和化学信号的功能(马瑞燕和杜家纬,2000)。Hill *et al.* (2009)发现ST神经元的神经活动是由与产卵相关的气味物质引起的。在蔗根土天牛下颚须及下唇须表面,ST1、ST2是分布最广的2种感器,其中ST2分布于近侧面位置。蔗根土天牛ST的数量较具备取食习性的双簇污天牛 *Moechotypa diphysis* (Pascoe)少得多,大量的ST可能在天牛取食过程中有重要作用,还有助于其探测刻槽产卵的环境(Liu & Tong,2023a)。ST1和ST22种感器类型可能更多地用于帮助蔗根土天牛寻觅最佳产卵环境。

HP 一般分布在节基部,可用于寻找配偶和产卵过程中感知器官的相对位置(Liu & Tong, 2023b; Wang *et al.*, 2022), HP 同样仅集中分布于蔗根土天牛下颚须、下唇须的基部第一节位置,且形态与蝎蛉科昆虫 HP 相近,可能同样在寻找配偶和产卵时起感受功能。

SP 和 SCo 经常作为昆虫的重要受体一起出现(Li *et al.*, 2012)。隐藏式的 SP 只对性信息素敏感,而凹形的 SP 和 SCo 对植物挥发性气味具有活性(Larsson *et al.*, 2001)。在蔗根土天牛的下颚须及下唇须末端,SP 呈微凹状,SP 和 SCo 的分布模式与双簇污天牛相似(Liu & Tong, 2023a),可帮助蔗根土天牛更好地感知寄主植物的挥发性气味,从而帮助其准确识别宿主。

下颚须及下唇须的末端是 SB 的集中分布区(刘志萍等, 2008)。SB 可接收气味物质,在受体中产生物理或化学反应,执行嗅觉或味觉功能,也对性信息素敏感(白津铭等, 2022; Krenn, 2010)。根据表面和顶端是否有感觉孔,可分为无孔的机械感受器和有孔的化学感受器(Zacharuk, 1980)。蔗根土天牛成虫的 SB1、SB2 和 SB3 为有孔型感受器, SB4、SB5 为无孔型感受器。SB 传感器包含的亚型数量较具有取食习性的天牛多(Chen *et al.*, 2018; Liu & Tong, 2023a),可能通过协同作用帮助蔗根土天牛更好地感知外部环境中的机械刺激和化学信号。此外,蔗根土天牛下颚须及下唇须末节最长,而这些传感器分布于下颚须、下唇须的最末端,会随下颚须、下唇须首先接触寄主,从而提高捕获气味分子的效率,更好地判断栖息地和产卵环境。

蔗根土天牛成虫口器上各类传感器的功能还有待结合透射电镜、电生理技术等来进一步研究证实,以期为进一步研究天牛科昆虫口器传感器的形态与功能间的关系奠定基础。

参考文献

白津铭, 廖咏梅, 王斯玮, 凌科幸, 任立云, 2022. 六斑月瓢虫触角及感觉器扫描电镜观察. 生物安全学报, 31(1): 75-80.

陈青, 卢芙蓉, 卢辉, 徐雪莲, 经福林, 肖子盈, 李兆贵, 廖琦, 李开绵, 2012. 木薯主要地下害虫蛴螬、蔗根锯天牛发生规律与防控技术研究. 热带作物学报, 33(2): 332-337.

黄晶, 马继文, 刘歆然, 李美美, 花保祯, 2011. 中华蚊蝎蛉

成虫口器传感器的超微结构. 昆虫学报, 54(1): 110-116.

贾志飞, 王枫荻, 张海静, 丁仕波, 仇延鑫, 许永玉, 陈珍珍, 2023. 茶园天敌拟特浆角蚜小蜂感受器的种类及分布特征. 茶叶学报, 64(2): 51-59.

李江平, 黄标, 赵家流, 杨荣, 戚强, 黄天来, 黄璐妍, 夏李虹, 2017. 剑麻蔗根锯天牛为害情况调查及药剂筛选. 安徽农业科学, 45(21): 146-150.

李莎, 白明, 王心丽, 杨星科, 2013. 捕食性颚花金龟口器形态的适应进化及功能研究(鞘翅目:金龟科:花金龟亚科). 应用昆虫学报, 50(4): 974-980.

刘志萍, 李燕飞, 王进军, 2008. 三种隐翅虫下颚须和下唇须传感器超微结构的比较研究(鞘翅目:隐翅虫总科). 昆虫分类学报, 30(1): 25-30.

马瑞燕, 杜家纬, 2000. 昆虫的触角感器. 昆虫知识, 37(3): 179-183.

钱路兵, 张梦蝶, 杨斌, 李宗波, 2022. 短毛切梢小蠹成虫口器传感器的扫描电镜观察. 森林与环境学报, 42(3): 329-336.

王晓燕, 2020. 蝎蛉科和蚊蝎蛉科昆虫口器和触角感器形态研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学.

闫晓燕, 李竹, 陈力, 2018. 天牛科 5 亚科昆虫成虫口器形态比较. 环境昆虫学报, 40(5): 1058-1070.

于永浩, 岑冠军, 韦德卫, 曾宪儒, 曾涛, 2012. 基于 Crosby 生长法则的蔗根土天牛幼虫龄期划分. 南方农业学报, 43(10): 1485-1489.

于永浩, 覃江梅, 龙秀珍, 曾宪儒, 江小冬, 韦德卫, 高燕, 2020. 蔗根土天牛成虫产卵习性及其温度对卵发育的影响. 南方农业学报, 51(3): 505-511.

张方梅, 金银利, 张丽丽, 尹健, 陈俊华, 赵琦, 潘鹏亮, 2019. 灰茶尺蠖成虫触角及幼虫头部感器超微结构. 昆虫学报, 62(6): 743-755.

张玉丹, 李思达, 张振飞, 张扬, 吴伟坚, 2018. 黑肩绿盲蝽口器的结构和感器. 环境昆虫学报, 40(5): 1071-1077.

BERNAYS E A, CHAPMAN R F, 2001. Taste cell responses in the polyphagous arctiid, *Grammia geneura*: towards a general pattern for caterpillars. *Journal of Insect Physiology*, 47(9): 1029-1043.

CHAPMAN R F, 2003. Contact chemoreception in feeding by phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 48: 455-484.

CHEN F, ZHANG C N, DAI W, 2016. Fine structure and sensory apparatus of the mouthparts of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). *Annals of the Entomological Society of America*, 109: 881-889.

CHEN J M, ZHU X, QIAO H, LIU S, XU C Q, XU R, ZHAN W H, LI J L, GUO K, CHEN J, 2018. Ultrastruc-

- ture of sensilla on the maxillary and labial palps of the adult *Xylotrechus grayii* (Coleoptera: Cerambycidae). *Microscopy Research and Technique*, 81: 669–680.
- CHU C C, MARGOSAN D A, BUCKNER J S, FREEMAN T P, HENNEBERRY T J, 2007. *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) nymphal feeding in cotton (*Gossypium hirsutum*) leaves. *Insect Science*, 14: 375–381.
- CRAIGHEAD F C, 1915. Larvae of the Prioninae. *United States Department of Agriculture*, 107: 1–24.
- HANSSON B S, BLACKWELL A, HALLBERG E, LÖFQVIST J, 1995. Physiological and morphological characteristics of the sex pheromone detecting system in male corn stemborers, *Chilo partellus* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Insect Physiology*, 41(2): 171–178.
- HAO Y N, SUN Y X, LIU C Z, 2019. Functional morphology of the mouthparts of lady beetle *Coccinella transversoguttata* (Coccinellidae, Coleoptera), with reference to their feeding mechanism. *Journal of Morphology*, 280: 701–711.
- HILL S R, HANSSON B S, IGNELL R, 2009. Characterization of antennal trichoid sensilla from female southern house mosquito, *Culex quinquefasciatus* Say. *Chemical Senses*, 34(3): 231–252.
- HU Q L, LI W N, FENG J N, 2020. Morphology, distribution, ultrastructure, and possible function of the external sensilla on antennae and mouthparts of *Echinothrips americanus* Morgan (Thysanoptera: Thripidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 23(2): 599–605.
- JI N X, ZHANG S G, ZHANG L, 2006. Expression of odorant-binding and chemosensory proteins and spatial map of chemosensilla on labial palps of *Locusta migratoria* (Orthoptera: Acrididae). *Arthropod Structure and Development*, 35: 47–56.
- KRENN H W, 2010. Feeding mechanisms of adult Lepidoptera: Structure, function, and evolution of the mouthparts. *Annual Review of Entomology*, 55: 307–327.
- LAZAREV M, 2020. *Erythrotes murzini* (Coleoptera: Cerambycidae), a new genus and species of longicorn beetles from China. *Annales Zoologici Fennici*, 57: 171–173.
- LI K M, ZHANG Y J, WU K M, GUO Y Y, 2012. Antenna ultrastructure of *Microplitis mediator*. *Scientia Agricultura Sinica*, 45: 3522–3530.
- LI Q H, CHEN L Y, LIU M K, WANG W K, SABATELLI S, GIULIO A D, AUDISIO P, 2021. Scanning electron microscope study of antennae and mouthparts in the pollen-beetle *Meligethes (Odonthogethes) chinensis* (Coleoptera: Nitidulidae: Meligethinae). *Insects*, 12: 659.
- LIU C T, TONG X, 2023a. Functional morphology of the mouthparts of longhorn beetle adult *Psacotha hilaris* (Coleoptera: Cerambycidae) and sensilla comparisons between the sexes. *Arthropod Structure and Development*, 77: 101312.
- LIU C T, TONG X, 2023b. Morphological comparison of the sensilla on the maxillary and labial palps between male and female adults of *Moehotypa diphysis* (Coleoptera: Cerambycidae). *Microscopy Research and Technique*, 86: 1079–1090.
- NAPP D S, 1994. Phylogenetic relationships among the subfamilies of Cerambycidae (Coleoptera-Chrysomeloidea). *Revista Brasileira de Entomologia*, 38: 265–419.
- PERVEZ A, YADAV M, BOZDOGAN H, 2022. Functional morphology of mouthparts and antennal sensillae of two congeneric aphidophagous ladybirds. *International Journal of Tropical Insect Science*, 42: 2531–2546.
- SCHNEIDER D, 1964. Insect antennae. *Annual Review of Entomology*, 9: 3–122.
- WANG P Y, ZHANG Z, KONG X B, WANG H B, ZHANG S F, GAO X R, YUAN S R, 2012. Antennal morphology and sensilla ultrastructure of three *Tomicus* species (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Microscopy Research and Technique*, 75: 1672–1681.
- WANG X Y, MA N, HUA B Z, 2022. Mouthpart structure of the adult *Bicaubitacus appendiculatus* (Esben-Petersen, 1927) (Mecoptera: Bittacidae). *Arthropod Structure and Development*, 70: 101176.
- WICKHAM J D, LU W, JIN T, PENG Z, GUO D, MILLAR J G, HANKS L M, CHEN Y, 2016. Prionic acid: an effective sex attractant for an important pest of sugarcane, *Dorystenes granulatus* (Coleoptera: Cerambycidae: Prioninae). *Journal of Economic Entomology*, 109(1): 484.
- XUE K, WANG X Y, HUANG C H, WANG R J, LIU B, YAN F M, XU C R, 2009. Stylet penetration behaviors of the cotton aphid *Aphis gossypii* on transgenic Bt cotton. *Insect Science*, 16: 137–146.
- ZACHARUK R Y, 1980. Ultrastructure and function of insect chemosensilla. *Annual Review of Entomology*, 25: 27–47.
- ZHANG Y R, REN L L, ZHANG L, WANG R, YU Y, LU P F, LUO Y Q, 2018. Ultrastructure and distribution of sensilla on the maxillary and labial palps of *Chlorophorus caragana* (Coleoptera: Cerambycidae). *Journal of Morphology*, 279(5): 574–588.
- ZHOU S C, ZHENG X L, LU W, 2020. The complete mitochondrial genome of an Asian longicorn beetle *Dorystenes granulatus* (Coleoptera: Cerambycidae: Prioninae). *Mitochondrial DNA Part B-Resources*, 5(1): 673–674.