

# 拟后黄卷蛾幼虫头部传感器的超微结构

陈文佳<sup>1</sup>, 杨奇龙<sup>1</sup>, 韦刘宇<sup>1</sup>, 黎金芮<sup>1</sup>, 郭梦婷<sup>1</sup>, 杨振德<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>广西大学林学院, 广西 南宁 530001; <sup>2</sup>广西高校亚热带人工林培育与利用重点实验室, 广西 南宁 530001

**摘要:** 【目的】探究拟后黄卷蛾幼虫头部传感器的种类、分布及形态特征, 分析其形态学特征和各传感器功能。

【方法】利用扫描电子显微镜对拟后黄卷蛾 5 龄幼虫的口器及触角的超微结构进行观察。【结果】拟后黄

卷蛾幼虫口器上共有 7 种传感器, 分别为刺形传感器、毛形传感器、锥形传感器、栓锥形传感器、指形传感器、板形传感器、

和感受锥。其中刺形传感器分布最广, 锥形传感器数量最多。触角上共有 4 种传感器, 为刺形传感器、毛形传感器、

锥形传感器、栓锥形传感器。【结论】本研究明确了拟后黄卷蛾幼虫头部共含 7 种传感器, 其中指形传感器的分布

可能在幼虫的卷叶行为中发挥关键作用。

**关键词:** 拟后黄卷蛾; 幼虫; 传感器; 超微结构; 扫描电镜



开放科学标识码  
(OSID 码)

## Ultrastructural observations on the head sensorium of *Archips micaceana* Larvae

CHEN Wenjia<sup>1</sup>, YANG Qilong<sup>1</sup>, WEI Liuyu<sup>1</sup>, LI Jinrui<sup>1</sup>, GUO Mengting<sup>1</sup>, YANG Zhende<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530001, China; <sup>2</sup>Guangxi Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Subtropical Plantation Forests in Universities, Nanning, Guangxi 530001, China

**Abstract:** 【Aim】The main goals were to investigate the types, distribution, and morphological characteristics of the sensilla on the

head of *Archips micaceana* larvae, and to analyze the morphological characteristics and functions of each sensillum. 【Method】Scanning

electron microscopy was used to observe the ultrastructure of the mouthparts and antennae of the fifth instar larvae of the *A. mi-*

*micaceana* 【Result】We observed a total of seven types of sensilla on the mouthparts of the larvae, sensilla chaetica, sensilla tri-

chodea, sensilla basiconica, sensilla styloconica, sensillum digitiformium, sensilla placodea, and sensory peg. Among these, sensilla

chaetica had the widest distribution and sensilla basiconica was the most abundant. Moreover, we observed four types of sensilla

on the antennae: sensilla chaetica, sensilla trichodea, sensilla basiconica, and sensilla styloconica. 【Conclusion】This study clarified

that the head of the *A. micaceana* larvae contains seven types of sensilla, among which the distribution of sensillum digitiformi-

um may play a key role in the leaf-rolling behavior of the larvae.

**Key words:** *Archips micaceana*; larvae; sensilla; ultrastructure; scanning electron microscopy

传感器是昆虫重要的结构和感觉器官, 主要着生在触角、口器、尾须等部位(许再福, 2009)。传感器类型繁多, 即便是同种昆虫不同性别间传感器也存在差异(Schoonhoven & Loon, 2002)。昆虫可通过传感器特异性识别不同的信号分子并在体内传导, 对外界的环境变化、物理刺激等做出响应, 与神经系统相互协作影响昆虫行为(Ma *et al.*, 2016)。鳞翅目昆虫多为农林业害虫, 其幼虫主要通过头部的化学传感器来实现对寄主植物的识别与定位, 完成觅食行为

(赵国强等, 2006)。目前, 国内外对于昆虫化学传感器的研究主要集中在成虫触角的传感器结构和分布上, 如桉小卷蛾 *Strepsicrates coriariae* Oku (吴梅香等, 2020)、美国白蛾 *Hyphantria cunea* Drury (刘丹, 2022)、草地贪夜蛾 *Cryptophlebia ombrodelta* Lower (雷婷等, 2021)等, 对于幼虫头部传感器的研究相对较少, 现已报道的有山核桃透翅蛾 *Synanthedon exitiosa* Say (周平等, 2015)、朱红毛斑蛾 *Phauda flam-mans* Walker (刘俊延等, 2018)等。

收稿日期(Received): 2024-01-04 接受日期(Accepted): 2024-03-28

基金项目: 广西大学校级大学生创新创业训练计划项目(202310593539)

作者简介: 陈文佳, 女, 硕士研究生。研究方向: 森林病虫害防治。E-mail: 18777397631@163.com

\* 通信作者(Author for correspondence), 杨振德, E-mail: dzyang68@126.com

陈佩珍等(1997)报道,危害桉树 *Eucalyptus robusta* Smith 的卷蛾科害虫仅有桉小卷蛾,但近期调查发现,拟后黄卷蛾 *Archips micaceana* (Walker) 也可危害桉树。拟后黄卷蛾是鳞翅目 Lepidoptera 卷蛾科 Tortricidae 黄卷蛾属 *Archips* 的一种食叶性害虫,还可取食龙眼 *Dimocarpus longan* Lour.、杧果 *Mangifera indica* L.等嫩叶,幼虫吐丝匿居于寄主叶片中取食为害,严重时可导致叶片残缺枯黄,影响树梢生长。因此,利用扫描电子显微镜对拟后黄卷蛾5龄幼虫口器及触角上的传感器进行观察和分析,明确拟后黄卷蛾幼虫头部传感器的分布位置、类型、数量及形态特征,对于解析各传感器在幼虫取食过程中的功能,利用行为控制法对该害虫进行防控具有重要意义。

## 1 材料与与方法

### 1.1 供试昆虫

2023年9月供试拟后黄卷蛾幼虫采集于广西大学校园内巨园桉 *Eucalyptus grandis* × *E. tereticornis* DH201-2 无性系幼苗上,于人工气候箱[上海赫田科学仪器有限公司,温度(26±1)℃,光周期14L:10D]中饲养,每天喂食新鲜的桉树叶片。选取健康的5龄幼虫为试验材料。

### 1.2 材料处理及扫描电镜观察

样品制备:为方便切取幼虫头部组织,将幼虫放入培养皿中,在-20℃条件下冷冻3min使幼虫昏迷,用手术刀将头部切下,并用滤纸吸干溢出的淋巴液,放置于0.1 mol·L<sup>-1</sup>磷酸缓冲液(pH7.2)中超声波清洗60s,再用75%的酒精振荡60s,除去头部上附着的杂质。将处理后的幼虫头部样品放

置于2.5%戊二醛中固定,室温避光固定2h后,置于4℃下固定过夜。将固定后的样品依次用75%、80%、85%、90%、95%、100%的乙醇进行梯度干燥脱水,每个梯度脱水20min,其中100%乙醇脱水2次,脱水完成后放置在干净的培养皿内,室温下自然干燥24h。

样品处理:将干燥后的幼虫头部用导电胶固定在扫描电镜的金属台上,将头部以背面、腹面、侧面等不同角度放置,以便更好地观察头部各部位的传感器。在离子溅射仪下喷金90s后,置于扫描电镜下观察并拍照。

### 1.3 传感器鉴定与数据分析

根据幼虫头部传感器形态特征,参照 Schneider (1964)、Zacharuk (1980),对其进行鉴别并命名。各类传感器的大小通过 Adobe Photoshop CC 2019 软件进行测量,每头幼虫选取一根触角,每个传感器测量3头幼虫,以减少误差。利用 SPSS 18.0 软件对数据进行统计与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 幼虫头部形态特征

拟后黄卷蛾幼虫头部近似椭圆形,表面光滑,有些许刚毛着生,背面正中央有一较浅的倒“Y”形蜕裂缝(图1A);头部两侧各分布6个侧单眼(ocellus, O1~O6)和一个触角(antenna, An),触角着生在单眼与上颚(mandible, Mn)之间,分3节;幼虫头式为下口式,咀嚼式口器,口器由(labrum, L)、上颚(mandible, Mn)、下颚(maxilla, Mx)、下唇(labium, La)、舌、吐丝器(spinneret, Spi)(图1B)。

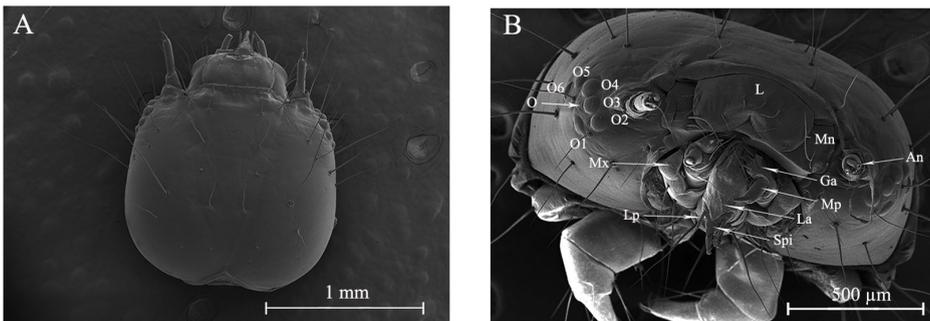


图1 拟后黄卷蛾幼虫头部形态特征

Fig.1 Morphological characteristics of the head of *A. micaceana*

A: 头部整体背面观; B: 头部正面观; O1~O6: 侧单眼; An: 触角; L: 上唇; Mn: 上颚; Mx: 下颚; La: 下唇;

Spi: 吐丝器; Ga: 外颚叶; Mp: 下颚须; Lp: 下唇须。

A: Overall back view of head; B: Head-on view; O1~O6: Ocellus; An: Antenna; L: Labrum; Mn: Mandible; Mx: Maxilla;

La: Labium; Spi: Spinneret; Ga: Galea; Mp: Maxillary palpus; Lp: Labial palpus.

## 2.2 幼虫头部口器特征、感器类型及分布

幼虫头部各感器的主要参数详见表 1。

2.2.1 上唇特征 上唇位于口器前方,唇前端中央有一倒“V”形的凹刻,其上分布着 6 对刺形感器(sensilla chaetica, SCH),其中 2 对着生在上唇中央凹刻后方(SCH5、SCH8),剩余 4 对(SCH1、SCH4、SCH9、SCH12)沿着上唇近腹面边缘分布,其中

SCH2 和 SCH11 较长,分别为(178.74±59)、(125.76±63.22) μm (图 2A)。

2.2.2 上颚特征 上唇后方为上颚,上颚表面光滑平整,正面基部轻微凹陷,左右两侧凹陷边缘各着生 2 个毛形感器(sensilla trichodea, ST),其中 ST2、ST3 较长,分别为(383.40±16.09)、(311.71±64.22) μm (图 2B)。

表 1 拟后黄卷蛾幼虫口器感器参数

Table 1 Parameters of *A. micaceana* larvae mouthparts sensors

单位 Unit: μm

位置 Location	部位 Segment	感器类型 Sensillum type	编号 Code	长度 Length	位置 Location	部位 Segment	感器类型 Sensillum type	编号 Code	长度 Length			
上唇 Labrum		刺形感器 Sensilla chaetica	SCH1	75.80±13.13	下颚 Maxilla	轴节 Cardo	刺形感器 Sensilla chaetica	SCH1	233.58±19.45			
			SCH2	178.74±59.00		茎节 Stipes	刺形感器 Sensilla chaetica	SCH2	174.61±30.73			
			SCH3	38.37±5.63		外颚叶 Galea	刺形感器 Sensilla chaetica	SCH3	75.52±12.46			
			SCH4	77.67±8.42		下颚须 Maxillary palpus	感觉锥 Sensilla chaetica	锥形感器 Sensilla basiconica	SB1	10.42±0.69		
			SCH5	125.02±32.36			板形感器 Sensilla styloconica	SB2	13.45±0.32			
			SCH6	85.54±20.41			板形感器 Sensilla styloconica	SB3	19.06±0.39			
			SCH7	77.47±23.52			板形感器 Sensilla styloconica	SB4	42.07±2.33			
			SCH8	100.31±40.61			板形感器 Sensilla styloconica	SB5	56.04±3.80			
			SCH9	73.67±12.14		板形感器 Sensilla styloconica	SST1	41.89±1.05				
			SCH10	43.62±6.00		板形感器 Sensilla styloconica	SST2	45.20±1.29				
			SCH11	125.76±63.22		板形感器 Sensilla styloconica	SPL1	13.58±1.86				
			SCH12	69.54±22.77		板形感器 Sensilla styloconica	SPL2	5.88±0.39				
上颚 Mandible	下唇须 Labial palups	毛形感器 Sensilla trichodea	ST1	195.76±30.44	下唇须 Labial palups	感觉锥 Sensilla peg	P1	34.01±1.56	指形感器 Sensillum digitiformia	SD	27.91±1.28	
			ST2	383.40±16.09			P2	34.33±2.30		锥形感器 Sensilla basiconica	SB1	5.29±1.12
			ST3	311.71±64.22			SCH	28.44±1.84			SB2	7.85±0.82
			ST4	149.70±31.71			Sensilla chaetica	SB3			8.60±1.86	
下唇 Labium	下唇须 Labial palups	感觉锥 Sensilla peg	P1	34.01±1.56	下唇须 Labial palups	刺形感器 Sensilla chaetica	SCH	28.44±1.84	锥形感器 Sensilla basiconica		SB4	13.98±3.54
			P2	34.33±2.30			Sensilla chaetica	SB5		4.77±0.35		
			SCH	28.44±1.84			Sensilla chaetica	SB6		5.34±0.88		
			Sensilla chaetica	SST			58.66±6.62	Sensilla chaetica		SB7	4.88±0.96	
			Sensilla chaetica	SST			58.66±6.62	Sensilla chaetica		SST	12.76±2.87	
			Sensilla chaetica	SST			58.66±6.62	Sensilla chaetica		SST	12.76±2.87	
			Sensilla chaetica	SST			58.66±6.62	Sensilla chaetica		SST	12.76±2.87	

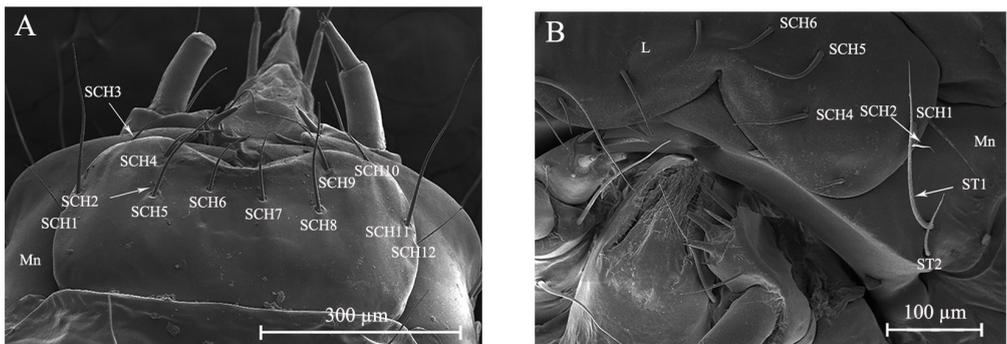


图 2 拟后黄卷蛾上唇及上颚形态特征

Fig.2 Morphological characteristics of the upper lip and upper mouth of *A. micaceana*

A: 上唇及上颚背面观; B: 上唇及上颚正面观; L: 上唇; Mn: 上颚; Sc: 柄节; Pe: 梗节; Fi: 鞭节; Spi: 吐丝器; SCH1~SCH12: 刺形感器; ST1、ST2 毛形感器; Sp: 茎节; Ca: 轴节; Ga: 外颚叶; Mp: 下颚须; Mx: 下颚。  
 A: Dorsal view of labrum and mandible; B: Frontal view of labrum and mandible; L: Labrum; Mn: Mandible; Sc: Scape; Pe: Pedicel; Fi: Flagellum; Spi: Spinneret; SCH1~SCH12: Sensilla chaetica; ST1, ST2: Sensilla trichodea; Sp: Stipes; Ca: Cardo; Ga: Galea; Mp: Maxillary palpus; Mx: Maxilla.

2.2.3 下颚特征 下颚由轴节 (cardo, Ca)、茎节 (stipes, Sp)、外颚叶 (galea, Ga)、内颚叶、下颚须 (maxillary palpus, Mp) 5 部分组成,在头两侧对称分布(图 3A)。轴节与茎节均为圆柱体形,其上各分布一个刺形感器 (SCH1、SCH2);外颚叶着生于茎节上方,面向下颚须一侧的体壁上有一刺形感器 (SCH3)分布,外颚叶顶端分布有 5 个锥形感器 (aensilla basiconica, SB1~SB5) 和 2 个栓锥形感器 (sensilla styloconica, SST1、SST2),栓锥形感器分布在靠近口腔一侧(图 3B)。

下颚须与外颚叶基部相连,由上下 2 节组成,

下方为基节 (basal, MP1)呈圆柱体形,表面光滑无感器分布,基节长为  $(90.86 \pm 14.59) \mu\text{m}$ ;基节顶部微微凹陷。端节 (summit, MP2)连接其上,端节呈圆锥体形,长  $(65.87 \pm 7.75) \mu\text{m}$ ,圆锥体上有 2 个板形感器 (Sensilla placodea, SPL1、SPL2) 和一个指形感器 (Sensilla digitiformia, SD),板形感器近椭圆形,SPL1 近端部微微凹陷,指形感器为椭圆形,近基部轻微凹陷;端节顶端着生 7 个锥形感器 (SB1~SB7) 和一个栓锥形感器 (SST),锥形感器中 SB3、SB4 较长,其余较短,另有 3 个锥形感器在端节靠外侧呈“山”字形并排分布(图 3C)。

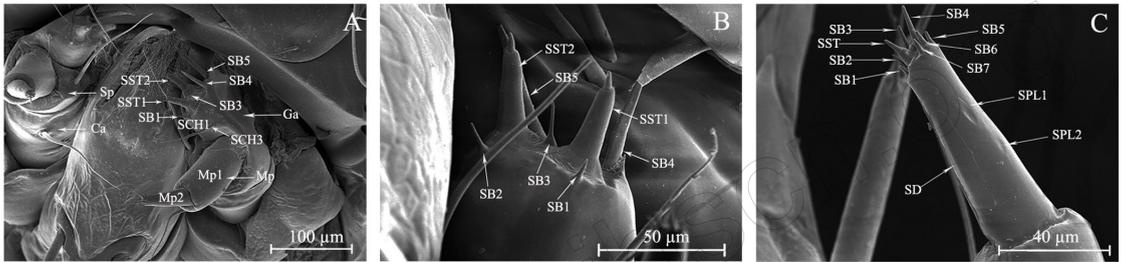


图 3 拟后黄卷蛾下颚形态特征

Fig.3 Morphological characterization of the mandibles of *A. micaceana*

A: 下颚正面观;B: 外颚叶细节图;C: 下颚须细节图;Sp: 茎节;Ca: 轴节;Ga: 外颚叶;Mp: 下颚须;Mp1: 基节;Mp2: 端节;SCH1~SCH3: 刺形感器;SST1、SST2: 栓锥形感器;SB1~SB7: 锥形感器;SST: 栓锥形感器;SPL1、SPL2: 板形感器;SD: 指形感器。

A: Frontal view of Maxilla; B: Detail of Galea; C: Detail of maxillary palpus; Sp: Stipes; Ca: Cardo; Ga: Galea; Mp: Maxillary palpus; Mp1: Basal; Mp2: Summit; SCH1-SCH3: Sensilla chaetica; SST1, SST2: Sensillum styloconicum; SB1-SB7: Sensilla basiconica; SST: Sensilla styloconica; SPL1, SPL2: Sensilla placodea; SD: Sensilla digitiformia.

2.2.4 下唇特征 下唇包含一个延伸的吐丝器和一对下唇须 (labial palpus, Lp)。吐丝器较长,其下方分布有一对感觉锥 (sensilla peg, P1、P2),小而

尖,交错分布(图 4B)。下唇须端部分布着一个刺形感器、一个栓锥形感器。栓锥形感器的锥体较短呈圆柱形,感受锥较长,约是锥体的 3 倍(图 4A)。

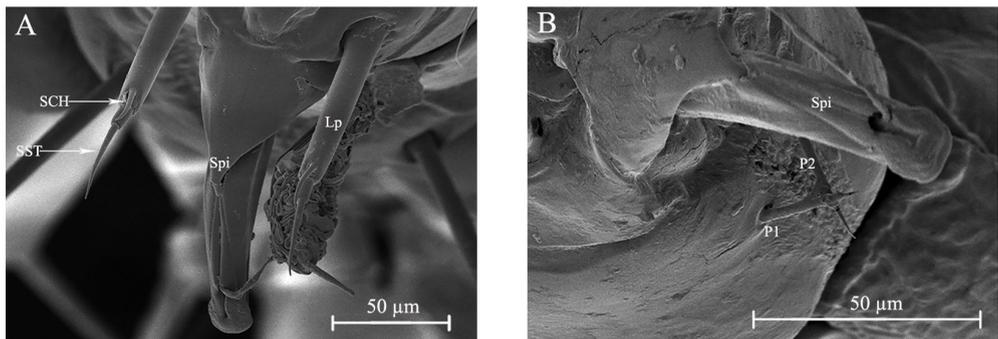


图 4 拟后黄卷蛾下唇形态特征

Fig.4 Morphological characterization of the lower lip of *A. micaceana*

A: 下唇正面观;B: 下唇细节图;Spi: 吐丝器;Lp: 下唇须;SCH: 刺形感器;SST: 栓锥形感器;P1、P2: 感觉锥。

A: Frontal view of labium; B: Labium Detail; Spi: Spinneret; Lp: Labial palpus; SCH: Sensilla chaetica; SST: Sensilla styloconica; P1, P2: Sensilla peg.

2.3 幼虫触角感器类型、形态学特征及分布

拟后黄卷蛾幼虫触角上共有 4 种感器:刺形感

器、毛形感器、锥形感器、栓锥形感器。触角分 3 节:柄节 (scape, Sc)、梗节 (pedicel, Pe) 和鞭节

(flagellum, Fi)(图 5A)。柄节着生在触角窝内,近似圆柱体,其上无感器分布。梗节外侧着生一个刺形感器(SCH1),梗节顶部鞭节着生的部位还着一个较粗的锥形感器、一个细长的毛形感器和一个

较短的刺形感器(SCH2)。鞭节上着生着 3 个感器,分别是一大一小锥形感器(SB1、SB2)、栓锥形感器(SST)和刺形感器(SCH3)(图 5B)。各感器的主要参数见表 2。

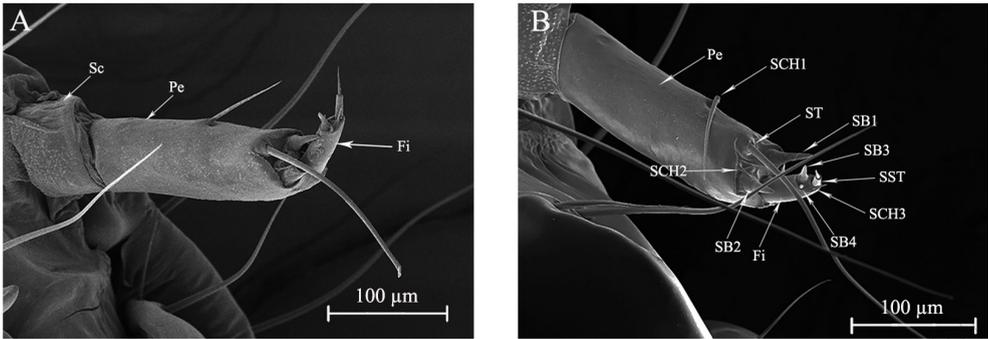


图 5 拟后黄卷蛾触角形态特征

Fig.5 Morphological characterization of the tentacles of *A. micaceana*

A: 触角腹面观; B: 触角感器图; SC: 柄节; Pe: 梗节; Fi: 鞭节; SCH1~SCH3: 刺形感器; SB: 锥形感器; ST: 毛形感器; SST: 栓锥形感器。

A: Antennae ventral view; B: Antennae basiconic diagram; SC: Scape; Pe: Pedicel; Fi: Flagellum; SCH1~SCH3: Sensilla chaetica; SB: Sensilla basiconica; ST: Sensilla trichodea; SST: Sensilla styloconica.

表 2 拟后黄卷蛾幼虫触角感器参数

Table 2 Parameters of *A. micaceana* larval tentacle sensor

位置 Location	部位 Segment	感器类型 Sensillum type	编号 Code	单位 Unit: μm	
触角 Antenna	梗节 Pedicel	刺形感器 Sensilla chaetica	SCH1	92.46±6.57	
			SCH2	14.73±0.64	
	鞭节 Flagellum	锥形感器 Sensilla basiconica	SB1	32.82±0.61	
			SB2	26.89±3.89	
		毛形感器 Sensilla trichodea	ST	407.63±108.81	
		栓锥形感器 Sensilla styloconica	SB3	18.58±5.02	
			SB4	4.99±0.78	
			SST	43.88±2.03	
			刺形感器 Sensilla chaetica	SCH3	12.49±1.22

### 3 讨论与结论

拟后黄卷蛾幼虫头部近似椭圆形、下口式与多数鳞翅目幼虫相似。拟后黄卷蛾幼虫具 6 对侧单眼,与梨小食心虫 *Grapholita molesta* Busck(柴晓晗等,2021)、美国白蛾(刘丹,2022)侧单眼数量相同,但与黄野螟 *Heortia vitessoides* Moors (5 对)(张蒙等,2014)不同。侧单眼是完全变态昆虫幼虫唯一的视觉器官,它取代了复眼的功能,能够判断物体的形状、颜色和距离(刘红霞和彩万志,2007),在幼虫定位寄主的过程中发挥重要作用,因此其数目差异可能与视觉感受强弱有关。

拟后黄卷蛾幼虫头部扫描电镜结果显示,幼虫触角上共有 4 种感器,与云南锦斑蛾 *Achelura yunnanensis* Horie & Xue 幼虫(李根层等,2022)感器类

型相似但数量不同,感器种类与山核桃透翅蛾(周平等,2015)不同。刺形感器是机械感器,主要感受外界的物理机械刺激(李根层等,2022),也能行使接触性化学感器的功能(马瑞燕和杜家纬,2000),起感受气流、支撑保护等作用(Wang *et al.*, 2015)。锥形感器是幼虫头部数量最多的感器(30 根),占有感器的 37.5%,锥形感器含一至多个神经元细胞,行使味觉与嗅觉功能,在搜寻与定位寄主中发挥重要作用(Wang *et al.*, 2015)。栓锥形感器在卷蛾科昆虫中可充当接触性化学受体(余海忠,2007)。推测拟后黄卷蛾幼虫触角上的感器也具有上述功能,并在识别、定位寄主和感知外界环境上起作用。

拟后黄卷蛾幼虫口器上共有 7 种感器,其感器种类与美国白蛾幼虫(刘丹,2022)相同,但数量上

存在差异。刺形感器在幼虫的上唇、下唇、下颚均有分布,是幼虫头部分布最广感器。刺形感器可感受气流、震动等外界刺激(钟海英等,2017),因此推测刺形感器在拟后黄卷蛾的虫苞内取食过程中感受外界刺激等方面起作用。毛形感器可充当机械受体和触觉受体,也能识别植物挥发物,具有识别、定位寄主的功能(蓝来娇等,2020)。下颚须上的板形感器能感受到一定浓度范围内植物挥发物的存在,充当嗅觉感器的作用(Ochieng *et al.*,2000)。外颚叶上的栓锥形感器是相对保守的一类感器(Devitt & Smith,1982),位于口腔一侧的一对栓锥形感器被称为中栓锥感器,行使味觉功能,在寄主选择,取食过程中发挥重要作用(Ishikawa *et al.*,1969)。下颚须上的锥形感器成簇状分布,与大多数鳞翅目昆虫相似,被认为具有嗅觉和味觉功能,可对植物挥发物产生电生理反应(Ishikawa *et al.*,1969)。下颚须端节壁上分布一个指形感器,与美国白蛾分布一个指形感器(刘丹,2022)、朱红毛斑蛾幼虫无指形感器分布(刘俊延等,2018)有差异。指形感器被认为具有感受CO<sub>2</sub>浓度,对温度和震动产生反应的功能(陈静和花保祯,2014),可能是拟后黄卷蛾幼虫的卷叶习性使其对CO<sub>2</sub>、温度和震动较其他取食习性的幼虫更为敏感,推测该感器数量差异与其卷叶行为有关。下唇须上各有一个刺形感器和栓锥形感器,与多数鳞翅目昆虫类似,主要用于感触食物并辅助进食(向玉勇等,2016)。

综上所述,拟后黄卷蛾幼虫头部的7种感器分别行使触觉、味觉、嗅觉、机械等多种功能。后续需要结合行为学、分子生物学和电生理反应等对其各感器功能进行验证,为拟后黄卷蛾的绿色防控提供理论基础。

### 参考文献

柴晓晗,王怡,郭永福,孔维娜,李捷,马瑞燕,2021. 梨小食心虫幼虫感受器扫描电镜观察. 环境昆虫学报, 43(2): 516-525.

陈静,花保祯,2014. 山茱萸蛀果蛾幼虫触角和口器感器的超微形态. 昆虫学报, 57(1): 133-140.

陈佩珍,顾茂彬,郑日红,严培吉,1997. 桉小卷蛾发生规律与防治的研究. 林业科学研究(1): 100-103.

蓝来娇,黄夏宁,马涛,王胜坤,胡可炎,温秀军,2020. 柚木野螟幼虫头部形态及化学感受器扫描电镜观察. 植物

保护, 46(1): 175-178, 184.

雷婷,郭峰,陈思蓉,李明超,严乃胜,陈斌,杜广祖,唐国文,2021. 草地贪夜蛾成虫触角感器超微结构观察. 生物安全学报, 30(3): 183-188.

李根层,糯淑梅,吴春,杨安锦,刘乃勇,2022. 云南锦斑蛾幼虫触角和口器感器的超微结构. 植物保护, 48(1): 121-126.

刘丹,2022. 美国白蛾成虫触角及幼虫头部感器超微结构. 硕士学位论文. 合肥: 安徽农业大学.

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.

刘俊延,黄宗优,张玉静,董子舒,陆温,郑霞林,2018. 朱红毛斑蛾幼虫头部感受器扫描电镜观察. 植物保护学报, 45(6): 1314-1320.

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

吴梅香,张太学,陈开端,陈琦,2020. 桉小卷蛾触角感器的超微结构. 生物安全学报, 29(3): 202-208.

向玉勇,孔丹丹,刘同先,张世泽,2016. 小地老虎雌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.

许再福,2009. 普通昆虫学. 北京: 科学出版社.

余海忠,2007. 昆虫触角感受器研究进展. 安徽农业科学, 35(14): 4238-4240, 4243.

张蒙,马涛,朱雪娇,温秀军,李奕震,2014. 黄野螟幼虫头部化学感器电镜扫描观察. 中国森林病虫, 33(3): 1-4.

赵国强,刘晓光,罗梅浩,2006. 昆虫对寄主植物选择的化学感受机理. 河南科技大学学报(自然科学版), 27(4): 80-83.

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.

周平,赵盼盼,曹霞,高瑾,巨云为,2015. 山核桃透翅蛾幼虫头部感器扫描电镜观察. 植物保护, 41(4): 63-67.

DEVITT B D, SMITH J J B, 1982. Morphology and fine structure of mouthpart sensilla in the dark-sided cutworm *Euxoa messoria* (Harris) (Lepidoptera: Noctuidae). *International Journal of Insect morphology & Embryology*, 11(5): 255-270.

ISHIKAWA S, HIRAO T, ARAI N, 1969. Chemosensory basis of host plant selection in the silkworm. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 12: 544-554.

MA L B, LEI L, ZHAO Q C, XIAO M L, ZONG X C, ZONG M, 2016. Ultrastructure of chemosensilla on antennae and tarsi of *Ectropis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae). *Annals of the Entomological Society of America*, 109(4): 574-584.

OCHIENG S A, PARK K C, ZHU J W, BAKER T C, 2000.

- Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae). *Arthropod Structure & Development*, 29(3): 231-240.
- SCHNEIDER D, 1964. Insect antennae. *Annual review of Entomology*, 9(1): 103-122.
- SCHOONHOVEN L M, VAN LOON J J A, 2002. An inventory of taste in caterpillars: each species its own key. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 48: 215-263.
- WANG R, ZHANG L, XU L L, ZONG S X, LUO Y Q, 2015. Sensilla on the antennae and ovipositor of the sea buckthorn carpenter moth, *Hococerus hippophaecolus* Hia et al (Lepidoptera: Cossidae). *Neotropical Entomology*, 44(1): 68-76.
- ZACHARUK R Y, 1980. Ultrastructure and function of insect chemosensilla. *Annual Review of Entomology*, 25(1): 27-47.
- (责任编辑:郭莹)
- 
- (上接第 85 页)
- 曾粮斌, 程毅, 严准, 马骏, 任顺祥, 魏林, 薛召东, 2016. 拟环纹豹蛛和前凹豹蛛对小菜蛾的捕食作用. *中国农学通报*, 32(26): 48-54.
- 张红梅, 王燕, 尹艳琼, 刘莹, 赵雪晴, 李向永, 谌爱东, 陈宗麒, 陈福寿, 2022. 十字花科蔬菜小菜蛾与半闭弯尾姬蜂种群动态研究. *植物保护*, 48(1): 251-257.
- 张慧慧, 陈安琪, 单提升, 许国升, 王翠翠, 史雪岩, 梁沛, 束长龙, 张杰, 2020. 京郊西兰花小菜蛾的田间防治药剂筛选与评价. *植物保护*, 46(1): 262-265.
- COCK C, MASON P G, HAYE T, CAPPUCINON, 2021. Determining the host range of *Diadromus collaris* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae), a candidate biological control agent for diamondback moth *P. xylostella* Linnaeus (Lepidoptera: Plutellidae) in Canada. *Biological Control*, 161: 104705.
- EBRAHIMI M, DE CLERCQ P, MAHDIAN K, 2022. Predation potential and prey-stage preference of two mirid bugs on different stages of *Plutella xylostella*. *Bulletin of Insectology*, 75(2): 299-305.
- FRENCH R, WHITE J, 1960. The diamond-back moth outbreak of 1958. *Plant Pathology*, 9(3): 77-84.
- HASSELL M, VARLEY G, 1969. New inductive population model for insect parasites and its bearing on biological control. *Nature*, 223: 1113-1117.
- HOLLING C S, 1959. Some characteristics of simple types of predation and parasitism1. *The Canadian Entomologist*, 91(7): 385-98.
- WANG X P, FANG Y L, ZHANG Z N, 2005. Effect of male and female multiple mating on the fecundity, fertility, and longevity of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Journal of Applied Entomology*, 129(1): 39-42.
- WANG X P, FANG Y L, ZHANG Z N, 2011. Effects of delayed mating on the fecundity, fertility and longevity of females of diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Insect Science*, 18(3): 305-310.
- (责任编辑:郭莹)