刘占玲,水亚环,史明发,等.梨星毛虫幼虫足、体表感器超微结构观察[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(2):71-79.
Liu Z L, Shui Y H, Shi M F, et al.Ultrastructural Observation of sensilla on the legs and body surface of liberis *pruni* larvae[J]. Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(2):71-79.
**doi**: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202405002

# 梨星毛虫幼虫足、体表感器超微结构观察

刘占玲,水亚环,史明发,丁瑞,周渊涛*

(青海大学 农牧学院,青海 西宁 810016)

**摘　要**:[目的]明确梨星毛虫*liberis pruni*幼虫感器超微结构,进而推测其功能,为后续梨星毛虫研究奠定基础。[方法]利用扫描电镜观察梨星毛虫幼虫足和体表感器类型、形态结构及分布情况。[结果]结果发现梨星毛虫幼虫足、体表共存在6种感器,分别是刺形感器I(Sch-I)、刺形感器II(Sch-II)、锥形感器(SB)、钟型感器(Sca)、毛形感器I(ST-I)和毛形感器II(ST-II),其中钟形感器只在体表分布,6种感器在体表均有发现,毛形感器分布最多,是梨星毛虫幼虫主要感器。[结论]本研究全面观察了梨星毛虫幼虫的足及体表感器类型和分布特征,推测各个感器的功能,可为梨星毛虫绿色防治提供新思路,为进一步研究梨星毛虫幼虫的形态学提供理论基础和科学依据,同时完善了鳞翅目幼虫感器的研究。

**关键词**:梨星毛虫; 幼虫; 感器; 扫描电镜; 超微结构
**中图分类号**:S433.4　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-8151(2025)02-0071-09

## Ultrastructural Observation of sensilla on the legs and body surface of *Liberis pruni* larvae

Liu Zhanling, Shui Yahuan, Shi Mingfa, Ding Rui, Zhou Yuantao*

(*School of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China*)

**Abstract**: [Objective] The purpose of current study was to clarify the ultrastructure of sensory receptors on the larvae of *Liberis pruni* and predict their functions, thereby laying a foundation for further research on this pest. [Methods] Scanning electron microscopy (SEM) was used to observe the types, morphological structures, and distribution of sensilla on the legs and body surfaces of *L. pruni* larvae. [Results] The study identified six types of sensory receptors on the legs and body surfaces of larvae: sensilla chaetica I (Sch-I), sensilla chaetica II (Sch-II), sensilla basiconica (SB-I), sensilla campaniformia (Sca), sensilla trichodea I (ST-I) and sensilla trichodea II (ST-II). Among these, sensilla campaniformia were found only on the body surface, while all six types were distributed across the body surface. Sensilla trichodea (I and II) were the most abundant and represented primary sensillum of *L. pruni* larvae. [Conclusion] This study comprehensively examined the types and distribution of sensilla on the legs and body surface of *L. pruni* larvae, inferred their potential functions, and provided new insights for the green control of this pest. The findings also offered a theoretical basis and scientific basis for further the morphological study of *L. pruni* larvae, while contributing to the broader understanding of sensilla in lepidopteran larvae.

**Keywords**: *Liberis pruni*, Larvae, Sensillum, Scanning electron microscopy, Ultrastructure

梨星毛虫(*liberis pruni*)属鳞翅目(Lepidoptera),斑蛾科(Zygaenidae),翅叶斑蛾属[1],又名饺子虫、裹叶虫(为害时幼虫吐丝将叶片包裹为饺子状)、梨夜斑蛾,是蔷薇科果树的主要害虫,该虫在我国梨产区普遍存在,除梨树之外,苹果树、海棠树、桃、杏、樱桃等蔷薇科果树均为梨星毛虫为害

**收稿日期**:2024-05-05　　**修回日期**:2024-06-17
**基金项目**:23-(千人计划)昆仑英才·乡村振兴人才 农业农村科技公关团队(K9923138)
**作者简介**:刘占玲(ORCID:0009-0000-2172-2537),硕士,研究方向:昆虫化学生态学
*通信作者:周渊涛(ORCID:0000-0003-2596-1070),副教授,硕士生导师,E-mail:1282186715@qq.com

对象[2]。该虫以幼虫钻蛀花和嫩叶,造成果树过早落叶,导致果树营养不良,花芽分化不完全,从而影响产量及树势,为害严重时,可造成果树连续几年无产[3]。为害时较为隐蔽,目前对其防治主要通过人工刮除树皮、摘除虫叶等物理防治以及喷药施肥等化学防治[4],防治手段有限。

感器是昆虫体表着生的感觉结构单元,是昆虫感受外界化学和物理刺激的重要感觉器官,参与昆虫取食、寄主定位、求偶、交配、产卵等重要生命活动[5]。感器根据功能的不同可分为嗅觉感受器,触觉感受器,味觉感受器等。据报道,嗅觉感受器影响昆虫对寄主植物和配偶的选择行为;触觉感受器能感知温度、湿度等外界环境变化;味觉感受器通过与寄主的直接接触感知寄主挥发物质[6]。鳞翅目昆虫常见感器主要有毛形感器、刺形感器、锥形感器、栓锥形感器、鳞形感器、腔锥形感器等[7-8]。昆虫可以通过味觉,触觉及嗅觉感受器感知外界条件刺激,从而影响昆虫繁殖和寄主植物的选择[9],因此,感器在昆虫化学通讯中发挥重要作用,利用扫描电镜观查感器超微结构,依据前人研究结果推测感器功能,可为害虫绿色防治提供新方法。

目前,已经有大量昆虫感器研究报道,涉及尺蛾科、麦蛾科、夜蛾科、毒蛾科、舟蛾科、螟蛾科等鳞翅目昆虫[10-11]。不同昆虫,或同种昆虫不同性别,不同发育阶段以及不同部位感器种类存在差异[12],如刘霞红等[11]在尺蛾科昆虫春尺蠖*Apocheima cinerarius*触角发现4种感器(毛形感器、刺形感器、锥形感器、耳形感器);王浩等[13]在麦蛾科昆虫番茄潜叶蛾*Tuta absoluta*成虫触角还发现了Böhm氏鬃毛、鳞形感器、腔锥形感器和栓锥形感器;在幼虫头部还发现指形感器和感觉锥;宋月芹等[14]在夜蛾科昆虫双委夜蛾*Athetis dissimilis*触角发现8种感器,其中毛形感器数量最多;陈佳宁等[15]发现毒蛾科昆虫木毒蛾*Lymantria xylina*成虫触角共有6种感器,其中耳形感器数量最少,毛形感器数量最多;付盈盈等[16]在舟蛾科昆虫分月扇舟蛾*Clostera anastomosis*触角发现毛形感器、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,各种感器在雌、雄蛾触角上的分布没有差别,但在数量上有明显区别;刘曼等[17]在螟蛾科昆虫竹织叶野螟*Algedonia coclesalis*触角观察到7种感器,腔锥形感器(CO-II)、耳形感器(AU-II)仅雄蛾触角有分布,且腔锥形感器(CO-II)为螟蛾科中首次发现;袁向群等[18]在弄蝶科昆虫曲纹稻弄蝶*Parnara ganga*触角共发现6种感器(鳞形感器、毛形感器、刺形感器、耳形感器、腔锥形感器和Böhm氏鬃毛)。不同感器具有不同功能,毛形感器作为嗅觉感器在昆虫交配场所选择、感受性信息素等方面发挥作用[19];刺形感器作为触觉感器能够探测性信息素,并与寄主定位有关[20];锥形感器能感知气味分子或作为嗅觉受体识别性信息素信号分子[21];栓锥形感器是典型的味觉受体,对温度、湿度等物理因素及氨基酸、糖等化学物质敏感,栓锥形感器能和锥形感器共同作用发挥嗅觉、味觉感受功能[22]。耳形感器属于嗅觉感器,可以感受植物挥发性物质[23]。目前国内外对鳞翅目昆虫成虫触角感器超微结构研究较多,但对幼虫整体感器详细研究较少,尤其是梨星毛虫幼虫感器研究目前只涉及老龄幼虫头部[24],针对梨星毛虫幼虫整体感器研究未见报道。本研究采用扫描电镜观察梨星毛虫幼虫足、体表感器形态结构,种类及分布特征,推测感器功能,旨在为梨星毛虫幼虫形态学研究奠定基础,进而为梨星毛虫绿色防治提供新思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

试验所用梨星毛虫于2023年6月采自青海省西宁市(36°39′N,101°41′E,海拔3 095.1 m),将幼虫及虫茧带回实验室于养虫笼(内有新鲜梨树枝条及3 cm厚的土壤)进行短期饲养收集各个龄期幼虫,饲养条件:光照14 L∶10 D,温度(23±1)℃,相对湿度(RH)70%~80%。

### 1.2 幼虫扫描电镜样品的制备与超微结构观察

选取形态完整的6头6龄幼虫,在体视显微镜下用镊子和刀片分离其头、足以及胸腹部;剖开胸腹部,用无水乙醇清洗出昆虫内脏;不同浓度的乙醇(30%、50%、70%、80%、90%、100%)对足以及胸腹部分别进行逐级脱水,各浓度脱水重复3次,每次脱水20 min;之后将出幼虫的足以及胸腹部在泡沫板上先展开,用昆虫针对其进行固定;固定后的样品全部置于超净工作台中打开风扇吹干(时间:12 h);干燥后的处理样品再置于实验台上

12 h;将干燥处理后的样品用导电胶固定在样品台上;放入小型离子溅射仪(SBC-12)喷金1 min;之后在青海大学三江源国家重点实验室进行扫描电镜(JSM-7900F)拍摄。

### 1.3　扫描电镜数据统计分析

感器的鉴定及命名参考Schneiderhe[25]和Zacharuk[26]对感器的研究,利用Adobe Photoshop CS6(Adobe Systems)软件进行感器类型的标注并进行图片的排版;感器的长度及基部直径根据所拍摄照片,借助Image J-win64(U. S National Institute of Health)进行测量,每种感器重复3次,取平均值,运用统计分析软件IBM SPSS 26.0进行统计分析。数据利用SPSS软件进行单因素方差分析(ANOVA)、显著性差异检验LDS,以及Duncan氏新复极差法进行多重比较,同时使用软件Graphpad prism进行T检验($P<0.05$)并绘制感器亚型差异图。

## 2　结果与分析

### 2.1　梨星毛虫幼虫足感器类型、形态特征及分布

2.1.1　刺形感器(Sensilla chaetica, Sch)

梨星毛虫幼虫足上刺形感器主要位于幼虫的臀足,感器外壁光滑,基部与基座连接紧密(图1A),根据长度与基部直径可分为刺形感器I(Sch-I)和刺形感器II(Sch-II)。刺形感器I长(78.81±1.48) μm,基部直径(9.30±0.38) μm(表1),形状略弯曲,端部极尖,与足表面呈60°~75°夹角(图1C)。刺形感器II较刺形感器I长度更长,为(166.16±1.43) μm(表1),基部直径为(13.11±0.72) μm,形状弯曲,端部尖(图1B,图1C);梨星毛虫足上分布刺形感器(Sch-I、Sch-II)长度和基部直径差异显著($P<0.05$)(图3A、图3B)。

2.1.2　毛形感器(Sensilla trichodea,ST)

梨星毛虫足上毛形感器外形如毛发,感器外壁光滑,末端细长,基部与基座连接紧密,与头部毛形感器外形相似。根据长度和基部直径可分为毛形感器I(ST-I)和毛形感器II(ST-II)。毛形感器I在腹足、胸足以及臀足均有分布,形状略弯曲,端部较尖(图1A~图1D,图1F,图1I),长度为(97.53±1.60) μm,基部直径为(9.90±0.11) μm,毛形感器II长度更长,为(137.16±1.60) μm,基部直径更大,为(12.07±0.62) μm(表1),主要分布在胸足和臀足,形状弯曲,端部钝圆(图1B,图1C,图1F,图1G,图1I);梨星毛虫足上毛形感器(ST-I、ST-II)长度及基部直径差异显著($P<0.05$)(图3D,图3E)。

2.1.3　锥形感器(Sensilla basiconica,SB)

锥形感器在梨星毛虫足上仅在胸足有见分布,呈锥状,外壁光滑,直立,端部钝圆,基部与基座连接不紧密(图1H)。锥形感器较刺形感器I和毛形感器I长度稍短,为(7.20±0.30) μm,基部直径稍小,为(3.10±0.11) μm(表1)。

### 2.2　梨星毛虫幼虫体表感器类型、形态特征及分布

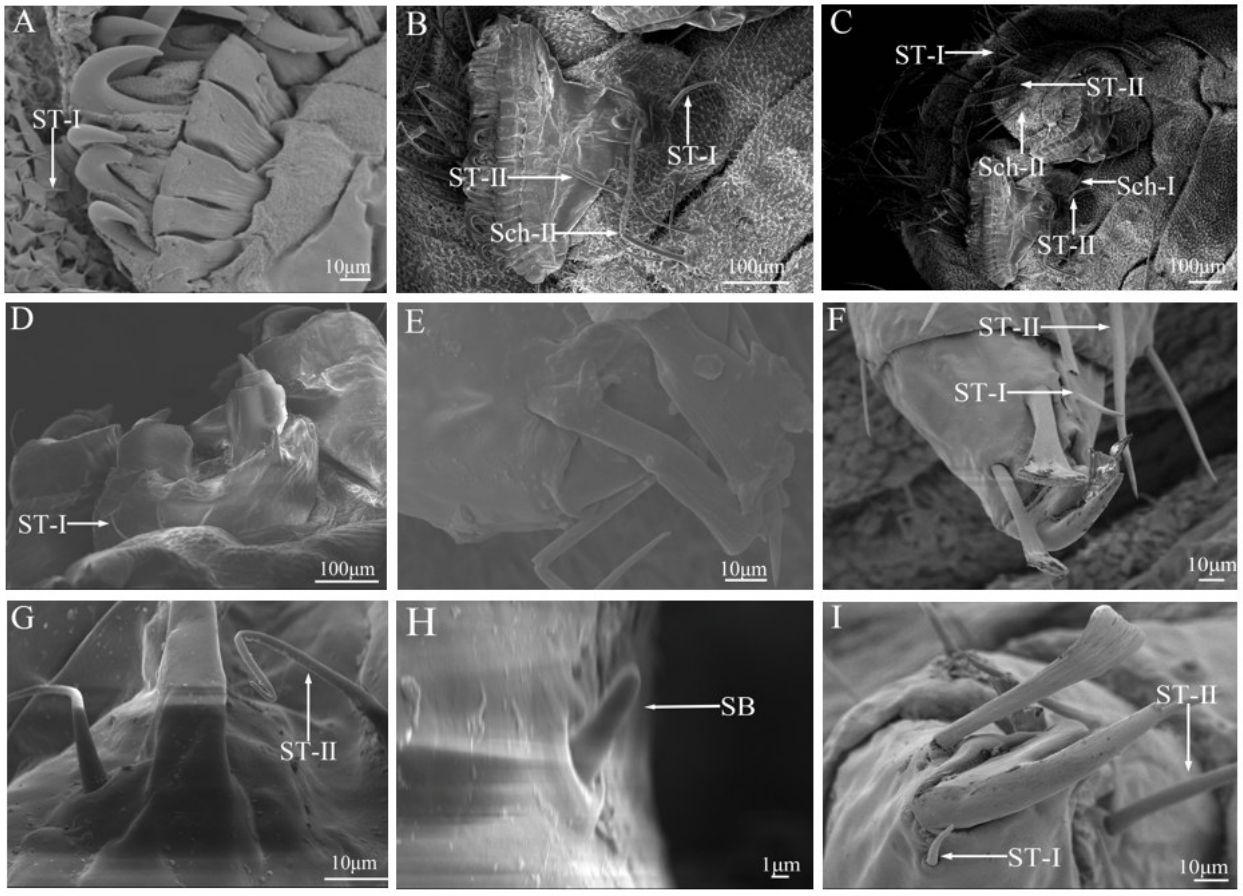
2.2.1　刺形感器(Sensilla chaetica,Sch)

扫描电镜观察发现梨星毛虫体表有刺形感器及其亚型分布,外形如刺,感器外壁具螺旋状棱纹,

**表1　梨星毛虫幼虫足不同类型感器的形态学特征**

**Table 1**　Morphological characteristics of different types of sensilla on the thoracic legs of *Liberis pruni*

| 感器类型 Sensilla type | 感器长/μm Sensilla length | 感器基部直径/μm Sensilla base diameter | 感器外壁 Sensilla outer wall | 感器形状 Sensilla shape | 端部 Tip | 基座 Base | 分布位置 Distribution position |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 刺形感器I Sensilla chaetica I | 78.81±1.48 | 9.30±0.38 | 光滑 | 略弯曲 | 极尖 | 紧密 | 臀足 |
| 刺形感器II Sensilla chaetica II | 166.16±1.43 | 13.11±0.72 | 光滑 | 弯曲 | 尖 | 紧密 | 臀足 |
| 锥形感器 Sensilla basiconica | 7.20±0.30 | 3.10±0.11 | 光滑 | 直立、端部钝圆 | 钝圆 | 宽松 | 胸足 |
| 毛形感器I Sensilla trichodea I | 97.53±1.60 | 9.90±0.11 | 光滑 | 略弯曲 | 较尖 | 紧密 | 腹足、胸足、臀足 |
| 毛形感器II Sensilla trichodea II | 137.16±1.60 | 12.07±0.62 | 光滑 | 弯曲 | 钝圆 | 紧密 | 臀足、胸足 |




A:腹足毛形感器(ST－I)和趾沟(Crochets);B:臀足毛形感器(ST－I、ST－II),刺形感器(Sch－II);C:臀足毛形感器(ST－I、ST－II)、刺形感器(Sch－I、Sch－II);D:胸足毛形感器(ST－I);E:胸足附近;F:胸足毛形感器(ST－I、ST－II);G:胸足周围毛形感器(ST－II);H:胸足上锥形感器(SB);I:胸足上毛形感器(ST－II)

A: Sensilla trichodea (ST－I) on the prolegs and crochets; B: Sensilla trichodea (ST－I, ST－II) and sensilla chaetica (Sch－II) on the anal proleg; C: Sensilla trichodea (ST－I, ST－II) and sensilla chaetica (Sch－I, Sch－II) on the anal proleg;D: Sensilla trichodea (ST－I)on the thoracic legs; E: around the thoracic legs; F: Sensilla trichodea (ST－I, ST－II)on the thoracic legs; G: Sensilla trichodea (ST－II) around thoracic legs; H: sensilla basiconica (SB) on the thoracic legs; I: Sensilla trichodea (ST－II)on the thoracic legs

**图1 梨星毛虫幼虫足形态及感器分布**

**Fig.1** Leg morphology and sensilla distribution of *Liberis pruni*

基部与基座连接紧密。梨星毛虫幼虫体表上分布的刺形感器根据长度与基部直径可分为刺形感器I(Sch-I)和刺形感器II(Sch-II)。刺形感器I长(145.50±0.72) μm,基部直径(9.00±0.34) μm,形状略弯曲,端部极尖(图2A、图2F)。刺形感器II较刺形感器I长度更长,为(158.77±0.93) μm基部直径更大,为(12.00±0.85) μm(表2),形状弯曲,端部尖,与刺形感器I形态极为相似(图2A、图2F、图2G)。刺形感器I和刺形感器II感器长度以及基部直径差异显著;梨星毛虫幼虫足、体表刺形感器(Sch-I、Sch-II)长度差异显著,其中体表刺形感器I长度最长,足上分布刺形感器II长度最长;足和体表刺形感器(Sch-I、Sch-II)基部直径无显著差异($P<0.05$)(图3A、图3B)。

2.2.2 毛形感器(Sensilla trichodea,ST)

梨星毛虫体表分布的毛形感器有毛形感器I(Sch-I)和毛形感器II(Sch-II),形状与在头部以及足上的毛形感器极相似,感器弯曲,端部钝圆,基部与基座连接紧密。毛形感器I外壁光滑(图2A～图2D、图2H、图2I),长度较毛形感器II短,为(55.45±0.92) μm,基部直径为(4.49±0.29) μm(表2);毛形感器II外壁具棱纹(图2A、图2B、图2E),感器长(91.00±1.03) μm,基部直径为(8.46±0.12) μm(表2);体表毛形感器(ST-I、ST-II)长度及基部直径均存在显著差异;梨星毛虫幼虫足和体表分布毛形感器(ST-I、ST-II)长度以及基

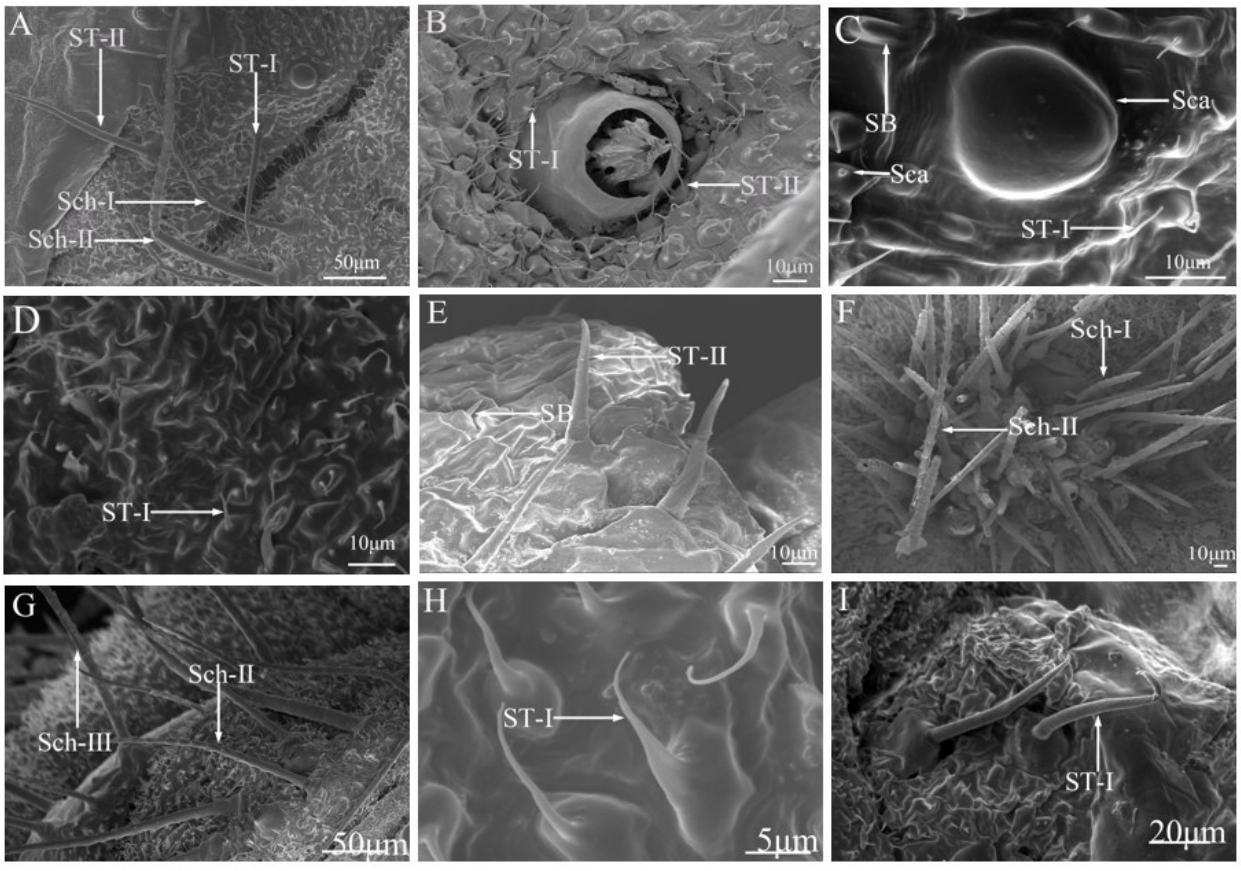
部直径差异显著,其中足上毛形感器(ST-I、ST-II)长度及基部直径显著高于体表毛形感器(ST-I、ST-II)($P<0.05$)(图3D、图3E)。

2.2.3　锥形感器(Sensilla basiconica,SB)

锥形感器在梨星毛虫体表较少分布,外壁光滑,端部钝圆,基部与基座连接不紧密(图2C),长度为(7.74±0.27) μm,基部直径为(1.98±0.12) μm(表2)。

2.2.4　钟形感器(Sensilla campaniformia,Sca)

梨星毛虫尾部有少量钟形感器分布(图2C),感器外壁光滑,形如钟状,端部钝圆。感器基部直径较刺形感器I和毛形感器I大,感器基部直径为(18.58±1.21) μm,环宽(13.33±1.13) μm(表2)。




A:腹部毛形感器(ST-I、ST-II)和刺形感器(Sch-I、Sch-II);B:气门周围毛形感器(ST-I、ST-II);C:尾部毛形感器(ST-I)、锥形感器(SB)和钟形感器(Sca);D:体表毛形感器(ST-I);E:体表锥形感器(SB)和毛形感器(ST-II);F:体表刺形感器(Sch-I、Sch-II);G:尾部周围刺形感器(Sch-II、Sch-III);H:尾部毛形感器((ST-I);I:尾部毛形感器(ST-I)

A: Sensilla trichodea (ST-I, ST-II) and sensilla chaetica (Sch-I, Sch-II) on the abdomen; B: Sensilla trichodea (ST-I, ST-II) around the stigma; C: Sensilla trichodea (ST-I), sensilla basiconica (SB) and sensilla campaniformia (Sca) on the anal;D: Sensilla trichodea (ST-I)on the body surface; E: Sensilla basiconica(SB) and sensilla trichodea (ST-II) on the body surface; F: Sensilla chaetica (Sch-I, Sch-II) on the body surface; G: Sensilla chaetica (Sch-II, Sch-III) around anal; H: Sensilla trichodea (ST-I) on the Anal; I: Sensilla trichodea (ST-I) on the Anal

**图2　梨星毛虫体表形态及感器分布**

**Fig.2**　Body surface morphology and sensilla distribution of *Liberis pruni*

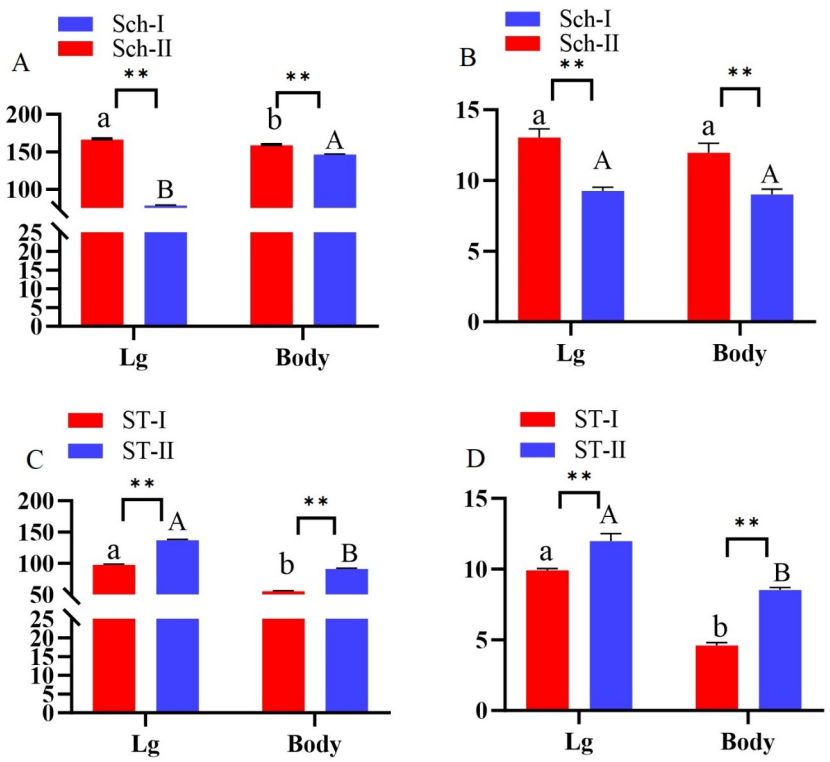
## 3　讨论

本研究以梨星毛虫幼虫足和体表为对象,利用电子扫描电镜观察感器超微结构。结果显示,梨星毛虫幼虫足及体表共计有6种感器,分别是刺形感器I(Sch-I)、刺形感器II(Sch-II)、锥形感器(SB)、钟型感器(Sca)、毛形感器I(ST-I)和毛形感器II(ST-II)。鳞翅目昆虫主要通过其化学感受器来感知外界不同的化学信号刺激来进行寄主植物的选择,从而完成取食活动,研究幼虫的各类化学感受器有助于进一步了解害虫食性机理[27]进而控制害虫数量,因此,对梨星毛虫幼虫感器分布、

表2 梨星毛虫幼虫体表不同类型感器的形态特征

**Table 2** Morphological characteristics of different types of sensilla on the body surface of *Liberis pruni*

| 感器类型 Sensilla type | 感器长/μm Sensilla length | 感器基部直径/μm Sensilla base diameter | 感器外壁 Sensilla outer wall | 感器形状 Sensilla shape | 端部 Tip | 基座 Base |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 刺形感器I Sensilla chaetica I | 145.50±0.72 | 9.00±0.34 | 具螺旋状棱纹 | 略弯曲 | 极尖 | 紧密 |
| 刺形感器II Sensilla chaetica II | 158.77±0.93 | 12.00±0.85 | 具螺旋状棱纹 | 弯曲 | 尖 | 紧密 |
| 毛形感器I Sensilla trichodea I | 55.45±0.92 | 4.49±0.29 | 光滑 | 弯曲 | 钝圆 | 紧密 |
| 毛形感器II Sensilla trichodea II | 91.00±1.03 | 8.46±0.12 | 具斜纹 | 弯曲 | 钝圆 | 紧密 |
| 锥形感器 Sensilla basiconica | 7.74±0.27 | 1.98±0.12 | 光滑 | 直立 | 钝圆 | 宽松 |
| 钟形感器 Sensilla campaniformia | 18.58±1.21 | 13.33±1.13 | 光滑 | 钟状 | 钝圆 | — |




A:足(Lg)、体表(Body)刺形感器(Sch-I、Sch-II)长度差异;B:足、体表刺形感器(Sch-I、Sch-II)基部直径差异(Width);C:足、体表毛形感器(ST-I、ST-II)长度差异;D:足、体表毛形感器(ST-I、ST-II)基部直径差异;误差线为3次生物学重复的标准误,大小写字母表示同一感器在足及体表之间的显著性差异(Duncan氏新复极差法:$P<0.05$),星号表示同一部位感器不同亚型之间的显著性差异(t检验,$P<0.05$;**$P<0.01$)

A: Differences in length of sensilla chaetica (Sch-I, Sch-II) on leg (Lg) and body; B: Differences in width of sensilla chaetica (Sch-I, Sch-II) on the leg, and body; C: Differences in length of sensilla trichodea (ST-I, ST-II) on the leg and body; D: Differences in width of the leg, and body surface sensilla trichodea (ST-I, ST-II); Error bars indicate the standard error from three biological replicates. Different uppercase and lowercase letters indicate significant differences between the leg and body surface of the same sensilla (Duncan's new multiple range test: $P<0.05$), and single and double asterisks indicate significant differences between different subtypes of sensilla in the same tissue (t-test, $P<0.05$; **$P<0.01$)

图3 梨星毛虫感器形态差异

**Fig.3** Morphological differences in sensilla of *Liberis pruni*

类型、以及功能的研究可为梨星毛虫绿色防治提供新思路。

梨星毛虫幼虫足上分布有刺形感器(Sch-I、Sch-II)、毛形感器(ST-I、ST-II)以及锥形感器。这与草地贪夜蛾*Spodoptera frugiperda*幼虫足上感器分布情况一致[28],梨星毛虫足上分布刺形感器II长度较体表长,基部直径较大,足上刺形感受器除了感受机械刺激外,在爬行过程中可能对幼虫体躯具有一定的支撑和保护作用[29];毛形感器能感知外界物理与化学刺激,如寄主植物释放的化学物质以及寄主植物表面硬度,与寄主选择有关[30]。梨星毛虫幼虫足上分布的毛形感器(ST-I、ST-II)外壁光滑,形状弯曲,长度及基部直径显著高于体表毛形感器(ST-I、ST-II),主要分布于胸足和臀足,其与草地贪夜蛾*S. frugiperda*[28]幼虫胸足上毛形感器相似,推测梨星毛虫幼虫足上的毛形感器能感受幼虫爬行时外界机械刺激,在寄主选择方面发挥重要作用。

梨星毛虫幼虫体表发现刺形感器(I型和II型)、毛形感器(I型和II型)、锥形感器和钟形感器。梨星毛虫幼虫体表刺形感器(Sch-I、Sch-II)不同于头部与足上分布刺形感器(Sch-I、Sch-II),其外壁具螺旋状棱纹,与桉蝙蛾*Endoclita signifer*幼虫体表分布的刺形感器(CI、CII、CIII)外形相似,螺旋状棱纹会使刺形感器更具有韧性,可以较大程度的弯曲[31],该构造可能有助于梨星毛虫幼虫钻蛀花和嫩叶。蚁蛉科幼虫体表钟形感器具有有机械或化学感受器功能[32],推测梨星毛虫体表钟形感器同样具有机械或化学感受功能。梨星毛虫体表共发现两种毛形感器,其中毛形感器I表面光滑无棱纹,与足上分布毛形感器(ST-I、ST-II)形状相似,推测其同样感受机械与化学刺激,并与寄主选择有关;毛形感器II外壁具有斜纹,表面无孔,与苜蓿夜蛾*Heliothis viriplaca*[33]、螟蛉盘绒茧蜂*Cotesia ruficrus*[34]毛形感器相似,推测体表毛形感器II有助于幼虫感知机械刺激,对直接接触、强气流或身体位置的相对变化做出反应,以此规避外部伤害。锥形感器能感受嗅觉、味觉及外界机械刺激[35],梨星毛虫幼虫足上和体表分布锥形感器(SB)不同于头部锥形感器(SB-I、SB-II)[24],其长度更长,推测在足和体表分布的锥形感器能感受外界物理或化学刺激。

近年来,关于鳞翅目、鞘翅目、膜翅目等昆虫的感器类型和分布情况已有大量报道,但多数感器研究仅涉及成虫触角及口器,而对于作为取食、危害的关键虫态的幼虫,其幼虫整体感器研究较少。本研究全面观察了梨星毛虫幼虫的足及其体表感器类型和分布情况,推测了各个感器的功能,为进一步研究梨星毛虫幼虫的形态学提供了理论基础,同时完善了我国鳞翅目幼虫感器的研究。但本研究对感器功能研究只是推测,要明确这些感器在梨星毛虫幼虫的具体功能,还需要进一步进行电生理学和行为学等试验。

## 4　结论

梨星毛虫幼虫足、体表一共发现6种感器,分别是刺形感器I(Sch-I)、刺形感器II(Sch-II)、锥形感器(SB)、钟型感器(Sca)、毛形感器I(ST-I)和毛形感器II(ST-II),其中钟形感器只在体表分布,6种感器在体表均有发现,毛形感器分布最多,是梨星毛虫幼虫主要感器,本研究全面观察了梨星毛虫幼虫的头部、足及其体表感器类型和分布特征,推测各个感器的功能,可为梨星毛虫绿色防治提供新思路,为进一步研究梨星毛虫幼虫的形态学提供理论基础和科学依据,同时完善了鳞翅目幼虫感器的研究。

## 参　考　文　献

[1]张翌楠,龙建平,雷金繁. 苹果树昆虫群落空间结构的研究[J]. 西北农业学报,2002,11(1):53-56.
Zhang Y N,Long J P,Lei J F. Research on the spatial structure of insect community in the apple tree[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica,2002,11(1):53-56.

[2]刘厚荣. 梨星毛虫生活史、习性的观察与防治[J]. 甘肃农业科技,1986(7):11-13.
Liu H R. Observation and control of life history and habits of *Dendrolimus* pyriformis[J]. Gansu Agricultural Science and Technology,1986(7):11-13.

[3]刘朝红,籍艺文,赵龙龙. 梨星毛虫的生物学特点初探[J]. 果树资源学报,2023,4(2):44-46.
Liu Z H,Ji Y W,Zhao L L. Preliminary study on biological characteristics of *Illiberis pruni*[J]. Journal of Fruit Resources,2023,4(2):44-46.

[4]赵晨霞. 坝上地区梨星毛虫的生物学特性及防治[J]. 河北林业科技,2002(5):11-13.
Zhao C X. Biological characteristics and control of pear caterpillar in Bashang Area[J]. Journal of Hebei Forestry Science and Technology,2002(5):11-13.

[5]王京枫,庄宇彤,罗雨昕,等. 小花尺蛾触角感器扫描电镜观察[J]. 植物保护,2022,48(5):174-182,189.
Wang J F, Zhuang Y T, Luo Y X, et al. Scanning electron microscopic observation on antennal sensilla of *Eupithecia abietaria* debrunneata[J]. Plant Protection, 2022, 48(5): 174-182,189.

[6]杨慧,严善春,彭璐. 鳞翅目昆虫化学感受器及其感受机理新进展[J]. 昆虫学报,2008,51(2):204-215.
Yang H, Yan S C, Peng L. Chemosensilla and chemical sensory mechanisms in Lepidoptera[J]. Acta Entomologica Sinica,2008,51(2):204-215.

[7]郭振营,王振军. 鳞翅目昆虫的触角感器[J]. 生物学通报,2015,50(2):13-15.
Guo Z Y, Wang Z J. Antennal sensilla of Lepidoptera insects[J]. Bulletin of Biology,2015,50(2):13-15.

[8]马瑞燕,杜家纬. 昆虫的触角感器[J]. 昆虫知识,2000,37(3):179-183.
Ma R Y, Du J W. Antennal sensilla of insects[J]. Entomological Knowledge,2000,37(3):179-183.

[9]Ball G E, Acorn J H, Shpeley D. Mandibles and labrum-epipharynx of tiger beetles: basic structure and evolution (Coleoptera, Carabidae, Cicindelitae)[J]. ZooKeys, 2011(147):39-83.

[10]张健,程彬,周毓麟,等. 鳞翅目昆虫触角感器研究进展[J]. 安徽农业科学,2017,45(18):129-132,168.
Zhang J, Cheng B, Zhou Y L, et al. Research progress of lepidopteran insect species antennal sensilla[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2017,45(18):129-132,168.

[11]刘红霞,孙彦楠,杨建军,等. 春尺蠖触角结构与感器扫描电镜观察[J]. 中国棉花,2023,50(8):17-20,48.
Liu H X, Sun Y N, Yang J J, et al. Scanning electron microscopy of the tentacle structure and receptors of *Apocheima cinerarius*[J]. China Cotton, 2023, 50(8): 17-20,48.

[12]Ma L, Bian L, Li Z Q, et al. Ultrastructure of chemosensilla on antennae and tarsi of *Ectropis obliqua* (Lepidoptera: Geometridae)[J]. Annals of the Entomological Society of America,2016,109(4):574-584.

[13]王浩,张毅波,杨安沛,等. 番茄潜叶蛾成虫触角及幼虫头部感受器的超微结构[J]. 植物保护学报,2023,50(3):684-695.
Wang H, Zhang Y B, Yang A P, et al. Ultrastructure of adult antennal sensilla and larval head sensilla of tomato leafminer *Tuta absoluta* (Meyrick)[J]. Journal of Plant Protection, 2023,50(3):684-695.

[14]宋月芹,董钧锋,孙会忠. 双委夜蛾触角感器的扫描电镜观察[J]. 电子显微学报,2018,37(1):77-83.
Song Y Q, Dong J F, Sun H Z. Scanning electron microscopic observation on antennal sensilla of *Athetis dissimilis*[J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2018, 37(1): 77-83.

[15]陈佳宁,孙媛媛,任昊杰,等. 木毒蛾成虫触角感器超微结构观察[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2023,52(4):445-449.
Chen J N, Sun Y Y, Ren H J, et al. Ultrastructure of antennal sensilla of adult *Lymantria xylina*[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2023,52(4):445-449.

[16]付盈盈,汤方,赵文亮,等. 分月扇舟蛾触角感觉器的扫描电镜观察[J]. 应用昆虫学报,2012,49(2):515-519.
Fu Y Y, Tang F, Zhao W L, et al. Antennal sensilla of *Clostera anastomosis* observed with scanning electron microscope[J]. Chinese Journal of Applied Entomology, 2012,49(2):515-519.

[17]刘曼,任春光,杨茂发,等. 竹织叶野螟触角感器的超微形态特征[J]. 林业科学,2013,49(9):107-111,187-188.
Liu M, Ren C G, Yang M F, et al. Ultrastructures of the antennal sensilla in algedomia coclesalis[J]. Scientia Silvae Sinicae,2013,49(9):107-111,187-188.

[18]袁向群,高可,张国云,等. 曲纹稻弄蝶触角感器超微结构观察[J]. 中国植保导刊,2013,33(12):18-20.
Yuan X Q, Gao K, Zhang G Y, et al. Ultrastructure of antennal sensilla of *Parnara ganga* Evans[J]. China Plant Protection,2013,33(12):18-20.

[19]杜立啸,刘杨,王桂荣. 昆虫外周嗅觉系统信号转导机制研究进展[J]. 中国科学:生命科学,2016,46(5):573-583.
Du L X, Liu Y, Wang G R. Molecular mechanisms of signal transduction in the peripheral olfactory system of insects[J]. Scientia Sinica (Vitae),2016,46(5):573-583.

[20]夏欣,白顺心,姚成层,等. 牧草盲蝽成虫触角超微结构观察[J]. 中国棉花,2022,49(1):22-25.
Xia X, Bai S X, Yao C C, et al. Ultrastructural observation on the adult of *Lygus pratensis*[J]. China Cotton, 2022, 49(1): 22-25.

[21]史皓男,李子芳,栾添,等. 甘蓝夜蛾触角感器扫描电镜观察[J]. 安徽农业科学,2023,51(3):143-146.
Shi H N, Li Z F, Luan T, et al. Scanning electron microscope observations of sensilla on the antenna of *Mamestra brassicae* L[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(3): 143-146.

[22]Yang Y C, Xu L L, Ren L L, et al. Comparative morphology of sensilla on antenna, maxillary palp and labial palp of larvae of white-spotted and yellow-spotted Asian long-horned beetle, *Anoplophora glabripennis* Motschulsky (Coleoptera: Cerambycidae)[J]. Entomological Research, 2017, 47(1): 3-10.

[23]Boeckh J, Kaissling K E, Schneider D. Insect olfactory receptors[J]. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology,1965,30:263-280.

[24]张婷,师文丽,樊楠楠,等. 梨星毛虫虫龄的划分及末龄幼虫头部形态和感器观察[J]. 环境昆虫学报,2023,45(6):1755-1763.
Zhang T, Shi W L, Fan N N, et al. Determination of larval instars and the observation of head morphology and sensilla of the instar larva of *Illidcris pruni* Dyar (Lepidoptera, Zygaenidae)[J]. Journal of Environmental Entomology, 2023,

45(6):1755-1763.

[25]Schneider D. Insect antennae [J]. Annual Review of Entomology,1964,9:103-122.

[26]Zacharuk R Y. Ultrastructure and function of insect chemosensilla[J]. Annual Review of Entomology,1980,25:27-47.

[27]向玉勇,孔丹丹,刘同先,等. 小地老虎雌蛾触角及幼虫头部感受器扫描电镜观察[J]. 昆虫学报,2016,59(12):1340-1347.
Xiang Y Y, Kong D D, Liu T X, et al. Observation of the sensilla on female adult antenna and larval head of *Agrotis* ypsilon (Lepidoptera: Noctuidae) with scanning electron microscope[J]. Acta Entomologica Sinica, 2016, 59(12): 1340-1347.

[28]伏倩文,吴海朝,胡瑞瑞,等. 草地贪夜蛾幼虫感受器扫描电镜观察[J]. 天津农业科学,2023,29(3):47-52.
Fu Q W, Wu H C, Hu R R, et al. Sensilla of larval *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Tortricidae) using scanning electron microscopy [J]. Tianjin Agricultural Sciences,2023,29(3):47-52.

[29]Chang X Q, Zhang S, Lü L, et al. Insight into the ultrastructure of antennal sensilla of *Mythimna separata* (Lepidoptera:Noctuidae)[J]. Journal of Insect Science,2015,15(1):124.

[30]张方梅,金银利,张丽丽,等. 灰茶尺蠖成虫触角及幼虫头部感器超微结构[J]. 昆虫学报,2019,62(6):743-755.
Zhang F M, Jin Y L, Zhang L L, et al. Ultrastructure of the sensilla on adult antenna and larval head of *Ectropis grisescens* (Lepidoptera: Geometridae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 2019,62(6):743-755.

[31]胡平,杨秀好,杨振德. 桉蝙蛾幼虫触角及胸腹体表感器形态及分布特征[J]. 北京林业大学学报,2021,43(9):111-120.
Hu P, Yang X H, Yang Z D. Morphology and distribution of sensillum on antennal, thoracic and abdominal tegument of *Endoclita* signifier larva [J]. Journal of Beijing Forestry University,2021,43(9):111-120.

[32]Acevedo Ramos F, Monserrat V J, Contreras-Ramos A, et al. Comparative study of sensilla and other tegumentary structures of Myrmeleontidae larvae (Insecta, Neuroptera)[J]. Journal of Morphology,2020,281(10):1191-1209.

[33]王宇,钱华,韩岚岚,等. 苜蓿夜蛾触角感器的扫描电镜观察[J]. 安徽农业科学,2015,43(36):7-11.
Wang Y, Qian H, Han L L, et al. Scanning electron microscopy observation on antennal sensilla of *Heliothis viriplaca*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2015,43(36):7-11.

[34]王文文,何朋阳,刘同先,等. 草地贪夜蛾寄生蜂螟蛉盘绒茧蜂成蜂触角感器的扫描电镜观察[J]. 昆虫学报,2023,66(8):1105-1116.
Wang W W, He P Y, Liu T X, et al. Observation of the sensilla on the adult antennae of *Cotesia ruficrus* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), under scanning electron microscope[J]. Acta Entomologica Sinica,2023,66(8):1105-1116.

[35]Barsagade D, Khurad A, Chamat M. Microscopic structure of mouth parts sensillae in the fifth instar larvae of eri silkworm, philosamia ricini (Lepidoptera: Saturniidae)[J]. Journal of Entomology and Zoology Studies,2013,1:15-21.

(编辑:吕俊俐)