

# Ultrastructural Observations on Antennal Sensilla of *Sialis sibirica* Larva

Jinwu Wang<sup>1</sup>, Xiangwu Kong<sup>1</sup>, Xingbo Cui<sup>1</sup>, Guangxin Wang<sup>1</sup>, Hongru Guo<sup>2</sup>, Quan Li<sup>3</sup>, Manhong Liu<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Heilongjiang Naolihe Nature Reserve Administration, Shuangyashan Heilongjiang

<sup>2</sup>School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

<sup>3</sup>Gongzhuling Kalun Reservoir Irrigation Areas Management Office, Gongzhuling Jilin

<sup>4</sup>College of Wildlife & Nature Protected Areas, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang

Email: \*manhong@nefu.edu.cn

Received: Jan. 17<sup>th</sup>, 2020; accepted: Feb. 3<sup>rd</sup>, 2020; published: Feb. 10<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

The antennal sensilla of *Sialis sibirica* larva were observed by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that four antennal sensilla of *S. sibirica* larva have been found, namely Sensilla chaetica (Ch), Sensilla basiconica (Ba), Sensilla trichodea (Th) and Sensilla coeloconica (Co). Images of Scanning electron microscopy showed that the density and quantity of the antennal sensilla for *S. sibirica* larva were much less than other terrestrial insects. Antennal sensillas of *S. sibirica* larva are mainly distributed in the stem section and whip joint as well as antenna tip, few distributed in other parts. Moreover, the function of the four kinds of sensilla was conjectured and analyzed in the paper according to the results of existing research. The study provided the basis research for the further study on the ultrastructure and physiological functions of aquatic insect sensilla.

## Keywords

Aquatic Insect, *Sialis sibirica* Larva, Antennal Sensilla, Ultrastructure

# 古北泥蛉幼虫触角感器超微结构观察

王金武<sup>1</sup>, 孔祥武<sup>1</sup>, 崔兴波<sup>1</sup>, 王广鑫<sup>1</sup>, 郭鸿儒<sup>2</sup>, 李全<sup>3</sup>, 刘曼红<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>黑龙江挠力河自然保护区管理局, 黑龙江 双鸭山

<sup>2</sup>东北林业大学林学院, 黑龙江 哈尔滨

<sup>3</sup>公主岭市卡伦水库灌区管理所, 吉林 公主岭

<sup>4</sup>东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 黑龙江 哈尔滨

Email: \*manhong@nefu.edu.cn

\*通讯作者。

文章引用: 王金武, 孔祥武, 崔兴波, 王广鑫, 郭鸿儒, 李全, 刘曼红. 古北泥蛉幼虫触角感器超微结构观察[J]. 世界生态学, 2020, 9(1): 83-90. DOI: 10.12677/ije.2020.91011

收稿日期: 2020年1月17日; 录用日期: 2020年2月3日; 发布日期: 2020年2月10日

## 摘要

本文利用扫描电镜技术对古北泥蛉幼虫触角感器进行了观察, 研究结果发现古北泥蛉幼虫共有4种感器, 分别为刺形感器(*Sensilla chaetica*, Ch)、锥形感器(*Sensilla basiconica*, Ba)、毛形感器(*Sensilla trichodea*, Th)和腔锥形感器(*Sensilla coeloconica*, Co)。扫描电镜照片结果显示古北泥蛉幼虫触角感器密度与数量均远少于已研究的其他各种陆生昆虫。古北泥蛉幼虫的触角感器主要分布于梗节与鞭节连接处以及触角尖端, 在其他部位鲜有分布。此外, 本文根据已有文献的研究结果分析并推测了四种不同感器的功能。为进一步研究水生昆虫的触角感器的超微结构和生理功能提供科学了基础。

## 关键词

水生昆虫, 古北泥蛉幼虫, 触角感器, 超微结构

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

亿万年的进化过程使昆虫具备了优良的环境适应能力, 择食与取食、择偶与交配、繁殖、栖息、御敌、迁徙等行为都已经达到了相当的进化水平。与其他动物相比, 昆虫对环境变化的适应更加依赖于对环境理化因子的感知。随着生物技术研究的发展, 利用昆虫自身的生理生化微观特性探索其与宏观世界各种行为活动, 已经成为环境监测领域和仿生学发展与应用中的新方向。而触角是昆虫感知环境的重要器官, 所以对于触角感器的研究更是受到相当的重视, 此类研究已获得显著的成果[1]。

昆虫利用特化的受体能对环境因子的变化进行识别, 而大部分受体都分布在触角上。昆虫触角上生着有数量众多的、灵敏的、专一性的感觉受体(感器), 能接受外界刺激并及时调控其生理状态, 使其在复杂的生境中及时感受到刺激并做出趋利避害的反应。此外, 昆虫触角感器的类型、密度、分布范围等也与昆虫的生活规律、栖息环境有着密切的联系。

国外对于昆虫触角的研究已有 100 多年的历史。1880 年, Hauser 第一个提出并研究了昆虫的嗅觉, 通过解剖直翅目、脉翅目、半翅目、双翅目、鳞翅目和膜翅目常见昆虫触角, 详细描述了触角的显微结构。1956 年, Schneider [2]将电信号技术应用于昆虫触角的研究中, 开创性地发明了触角电位图(EAG)。1963 年, 德国科学家 Boeckh 在毛形感器的基部插入用钨丝做的微型电极, 成功地获取了第一篇单细胞触角电位记录图。1964 年, Schneider 比较详尽地对昆虫触角感器进行了总结说明: 昆虫触角上生着有不同类型的由表皮特化形成的薄壁构造的感觉器官, 此外, Schneider 还对触角感受器的一般形态、功能、定位及神经传导做了概括总结。1970 年, Steinbrecht 率先将光学显微和扫描电子显微技术应用于对一种蚕蛾触角的研究, 并发现了毛形感器和锥形感器的嗅觉功能。1974 年, Kaissling 运用套毛的方法改进了单细胞记录方法。Moorhouse 和 Roelfs 采用 GC-EAG 联用装置同步记录性信息素各成份对雄性触角的刺激, 使昆虫触角化学感受器的研究走进更微观的细胞与分子领域。20 世纪 70 年代后期, 以 Zacharuk 为代表的科学家将扫描电镜技术(SEM)和透射电镜技术(TEM)等高新技术结合应用, 将触角感器的研究深入

到亚显微结构[3]。

扫描电镜(Scanning Electron Microscope, SEM)是一种高放大倍数,高精确性的显微成像摄影仪器。国外学者对昆虫纲许多种类的触角传感器进行了扫描电镜观察[4][5]。传感器是体壁的一个特化区域,由毛原细胞、感觉神经细胞组成,有的还附加辅助细胞,所有细胞均由同一母细胞经不同的细胞分裂演化而来。同时,Schneider以传感器的表面超微结构为依据对传感器进行了分类,大致可分为十种类型:刺形传感器(Sensilla chaetica)、毛形传感器(Sensilla trichodea)、锥形传感器(Sensilla basiconca)、腔锥形传感器(Sensilla coelocnica)、瓶形传感器(Sensilla ampullacea)、板形传感器(Sensilla placoclea)、栓锥形传感器(Sensilla styloconica)、鳞形传感器(Sensilla squamiformia)、剑梢传感器(Sensilla scolopalia)、钟状传感器(Sensilla campullacea)。

我国在20世纪70年代,由陈德明、杜家纬等[6][7]先后研制并使用了触角电位仪。1980年,尹文英首次报道了棉红铃虫触角感受器的扫描电镜观察[8],杜家纬全面论述了昆虫对信息素的感受作用,包括昆虫触角上感受器的形态种类、功能及感受机理[9]。此后,我国对触角感受器的研究日益增多,国内对触角感受器的研究大多停留在触角感受器扫描形态种类及分布上。而利用单细胞记录研究传感器功能的为数不多[10][11]。目前研究种类大多局限于农林业经济类害虫,对于水生昆虫触角传感器的研究,尚处于起步阶段,国内外文献鲜有发表。1999年Elda和Manuela对一些水生昆虫(包括:蜉蝣目、蜻蜓目、襀翅目,双翅目、线虫和毛翅目)触角传感器进行了开创性研究[12]。我国在2019年报到了古北短丝蜉(*Siphonurus palaearticus*)幼虫的四种触角传感器超微结构研究[13]。

古北泥蛉(*Sialis sibirica*)隶属于节肢动物门(Arthropoda),昆虫纲(Insecta),有翅亚纲(Pterygota),广翅目(Megaloptera),泥蛉科(Sialidae)。泥蛉科种类稀少,而古北泥蛉是东北地区林地区域内较为广布的种类。其作为清水种,对水生态环境状况的反应具有重要的意义。古北泥蛉幼虫生活在水中,借助触角上的传感器,特别是化学传感器,完成了对水环境中非生物因子和生物因子的识别功能。本文利用扫描电子显微镜对古北泥蛉幼虫的触角传感器的形态、数量及分布进行研究,探讨不同传感器相应的生理功能和对环境的识别机制,进一步明确水生昆虫触角在感知环境方面的作用,为科学、高效地利用古北泥蛉作为环境监测指示种提供依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 供试虫源

虫源取自黑龙江省尚志市帽儿山国家森林公园,东北林业大学帽儿山实验林场的山间溪流。于2014年10月利用D型抄网取溪流中,溪流两岸灌丛林立。该溪流受外界干扰较少,水清澈见底,溪流地质为卵石、砂和少量的枯枝落叶沉积物,用镊子捕捉古北泥蛉幼虫标本若干,活体带回实验室待处理。标本的鉴定在野生动物与自然保护地学院,湿地生态学实验室由刘曼红根据《水产水生昆虫科·属·种检索表》(第二版)[14]进行物种鉴定,标本保存在该实验。

### 2.2. 样品的处理

首先将活体古北泥蛉幼虫置于60%酒精的样品瓶中麻醉固定、备用。实验室内配制梯度洗涤液:70%、80%、90%、100%体积浓度的丙酮溶液;梯度干燥液:70%、80%、90%、100%的酒精,分别置于洁净的微量样品洗涤瓶中,贴标签备用。将固定的样品置于培养皿中,解剖镜下解剖,取完整头部后摘取触角样品。用配制好的丙酮溶液依浓度从低到高的次序依次洗涤,每次装瓶后盖好,匀速摇晃15分钟,再倒出至洁净的培养皿中,置于解剖镜下观察,去除可见污物杂物及多余残肢部分,而后用细毛刷尖端蘸取触角,转移至下一浓度洗涤瓶中重复上述操作。将洗涤过的触角用配制好的酒精溶液依浓度从低到高依次脱水干燥,每次装瓶后盖好,匀速摇晃15分钟,最后从100%酒精中蘸取样品转移至干燥的滤纸上,

彻底阴干。

### 2.3. 超微结构观察

将阴干的触角样品分为内侧(两触角相对一侧为内侧)和外侧(与触角内侧相对的一侧为外侧)粘在扫描电镜载物台上。用离子溅射仪(SCD 005, US)喷金后置于扫描电镜(SEM) Quanta200 (FEI, Inc., US)下扫描, 于 10~20 KV 加速电压下扫描观察触角超微结构。

### 2.4. 数据处理

利用彩色图像分析系统软件结合扫描电镜照片比例尺, 测量触角大小及不同类型感器的大小和分布。数据统计和表格分析使用 Excel 软件。文中所有数据均是 10 个以上测量数据的平均值。

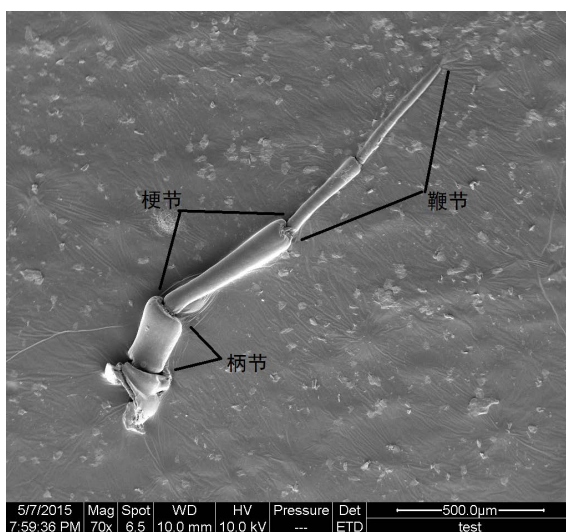
### 2.5. 触角感器的命名

本文沿用 Schneider 的分类系统, 并参考马瑞燕、余海中、那杰的分类方法, 对古北泥蛉幼虫的触角感器进行分类和命名[1] [2] [14] [15]。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 触角的一般形态

古北泥蛉幼虫触角呈丝状(图 1), 触角由三个部分组成, 柄节、梗节和鞭节, 柄节通过触角窝与头部相连。触角全长  $1544.45 \pm 155.20 \mu\text{m}$ , 其中柄节最短粗, 长  $255.56 \pm 27.05 \mu\text{m}$ , 直径略小于长; 梗节略长, 为  $511.11 \pm 56.67 \mu\text{m}$ ; 鞭节最长,  $777.78 \pm 71.48 \mu\text{m}$ ; 鞭节仅具有 2 个索节, 各索节近似圆筒形, 粗细近似均匀, 两节交界处稍膨大; 鞭节第一索节稍短, 为  $300.00 \pm 33.34 \mu\text{m}$ , 第二索节略长,  $477.78 \pm 38.14 \mu\text{m}$ 。



**Figure 1.** Observation with the scanning electron microscope on the complete whole antenna of *Sialis sibirica* larva  
**图 1.** 古北泥蛉幼虫触角整体扫描电镜观察(放大 70 倍)

### 3.2. 触角感器的种类、形态和分布

利用扫描电镜对古北泥蛉触角感器进行观察, 共发现 4 种感器, 分别为刺形感器(Sensilla chaetica, Ch)、锥形感器(Sensilla basiconica, Ba)、毛形感器(Sensilla trichodea, Th)和腔锥形感器(Sensilla coeloconica,

Co)。不同类型感器的大小形态也有所区别,毛形感器最细长,腔锥形感器最微小(表 1)。

### 3.2.1. 刺形感器(Sensilla Chaetica, Ch)

扫描电镜下观察可见刺形感器(图 2),感器长度为  $36.0 \pm 3.5 \mu\text{m}$ ,基部直径  $3.1 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ,尖端略圆钝,感器指向触角尖端。着生于凹陷的毛孔中,分布在近鞭节的梗节梢端,数量为 2~5 个/每触角。

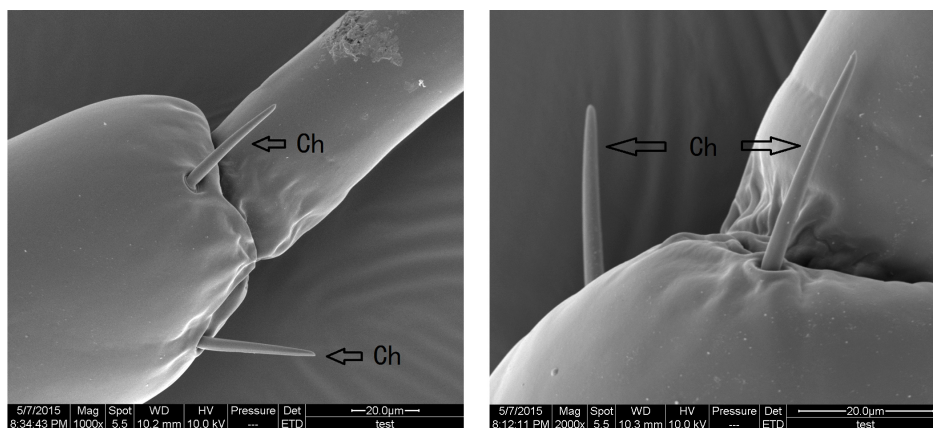


Figure 2. Sensilla chaetica (left magified 1000 times, right magified 2000 times)  
图 2. 刺形感器(左图放大 1000 倍, 右图放大 2000 倍)

### 3.2.2. 锥形感器(Sensilla Basiconica, Ba)

扫描电镜下观察可见锥型感器(图 3),长度  $28.1 \pm 0.5 \mu\text{m}$ ,直径  $13.5 \pm 1.5 \mu\text{m}$ (表 1),尖端圆钝,着生于梗节梢端内侧,感器近乎平行于梗节,每触角仅具有 1 个。

Table 1. The size of the different types of antennal sensilla of *Sialias sibirica* larva (mean  $\pm$  SD)

表 1. 古北泥蛉幼虫不同类型触角感器大小(平均值  $\pm$  标准差)

	刺形感器 Sensilla chaetica	锥形感器 Sensilla basiconica	毛形感器 Sensilla trichodea	腔锥形感器 Sensilla coeloconica
感器长度 Length	$36.0 \pm 3.5 \mu\text{m}$	$28.1 \pm 0.5 \mu\text{m}$	$49.9 \pm 6.7 \mu\text{m}$	$4.0 \pm 1.0 \mu\text{m}$
基部直径 Diameter	$3.1 \pm 0.2 \mu\text{m}$	$13.5 \pm 1.5 \mu\text{m}$	$2.1 \pm 0.2 \mu\text{m}$	(直径, Diameter)

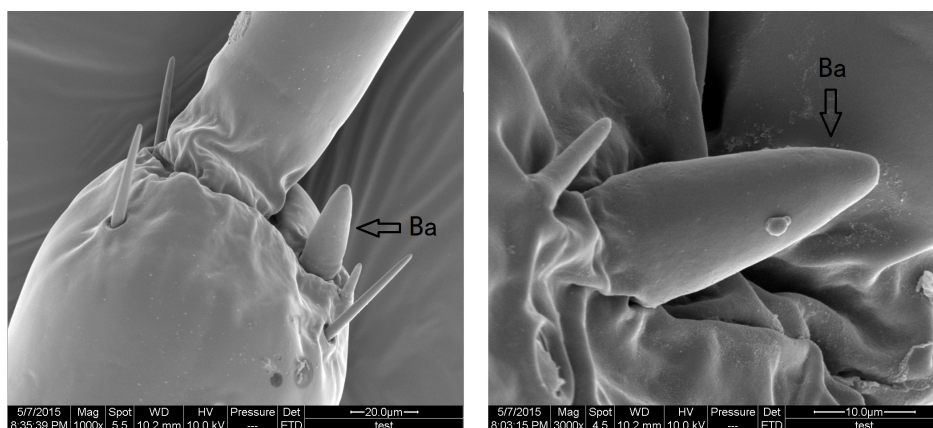


Figure 3. Sensilla basiconica (left magified 1000 times, right magified 2000 times)  
图 3. 锥形感器(左图放大 1000 倍, 右图放大 2000 倍)

### 2.2.3. 毛形感器(Sensilla Trichodea, Th)

电镜下观察可见鞭节顶端，触角尖端分布毛形感器(图 4)，呈顶端稍尖，通体细长的长毛状，长度为  $49.85 \pm 6.67 \mu\text{m}$ ，基部直径  $2.1 \pm 0.2 \mu\text{m}$ ，着生于凹陷的毛孔中，数量 5~7 个/每触角。

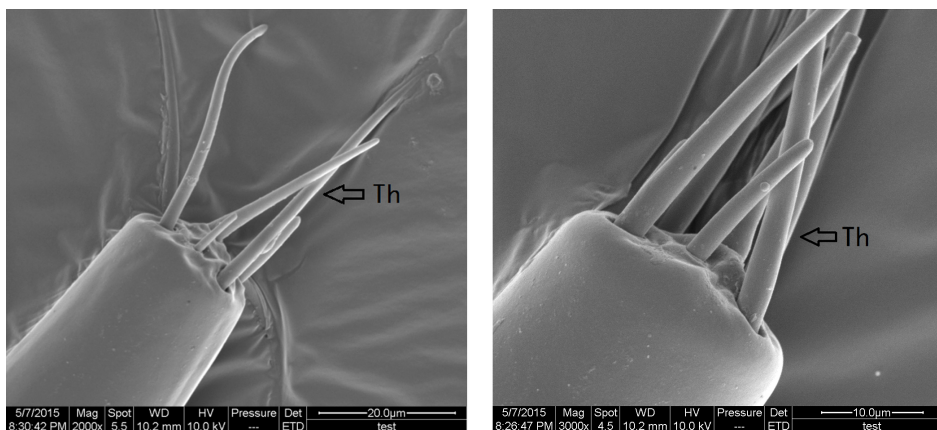


Figure 4. Sensilla trichodea (left magified 1000 times, right magified 2000 times)

图 4. 毛形感器(左图放大 1000 倍, 右图放大 2000 倍)

### 2.2.4. 腔锥形感器(Sensilla Coeloconica, Co)

电镜下观察可见梗节近梢端下方偶见腔锥形感器(图 5)，呈边缘圆润，中部凹陷的圆盘状，直径  $4.0 \pm 1.0 \mu\text{m}$ ，5000 倍下放大观察可见中央有略突出的类似腺体的结构。当前还没有确定具体的内部有机质。数量 1~2 个/每触角。

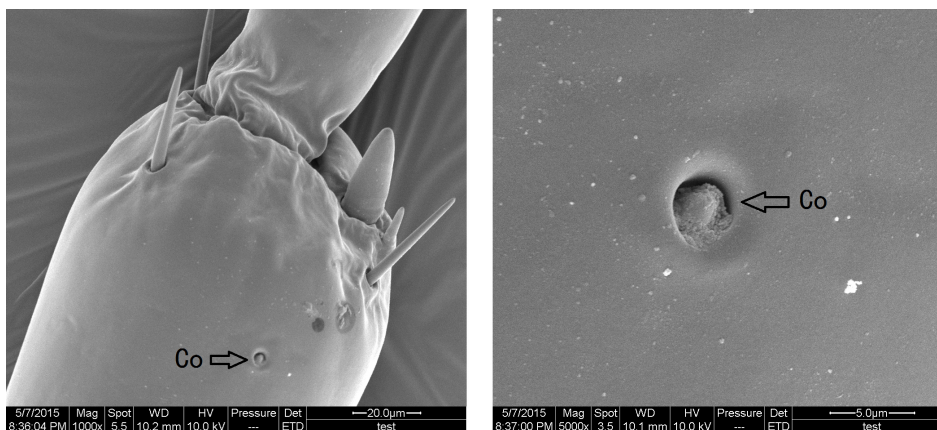


Figure 5. Sensilla coeloconica (left magified 1000 times, right magified 2000 times)

图 5. 腔锥形感器(左图放大 1000 倍, 右图放大 2000 倍)

## 3. 讨论

本文通过扫描电镜技术对 20 余头古北泥蛉幼虫的 50 余条触角感器进行了测量与分析，结果显示：在其幼虫触角上共发现 4 种不同类型感器，分别是刺形感器、锥形感器、毛形感器和腔锥形感器。其中，毛形感器数量最多，分布于触角鞭节尖端，每枚触角 5~7 个；其次为刺形感器，每枚触角 2~5 个；锥形感器每枚触角仅见一个。刺形感器和锥型感器均仅分布于梗节末端与鞭节连结处；腔锥形感器偶见，分布于梗节梢末端，每个触角 1~2 个，而宽翅蜻蜓(*Libellula depressa*)，位于第一和第二鞭节的腹侧和顶端，

并且每节 4~5 个[16]。可见不同种类的水生昆虫幼虫触角感器差别很大,与古北短丝蜉(*Siphonurus palaearticus*)幼虫触角感器类型也明显不同,古北短丝蜉幼虫触角上存在 4 种感器,分别为毛形感器(Sensilla trichoidea)、耳形感器(Sensilla auricillica)、钟形感器(Sensilla campullacea)和微孔感器(Sensilla microporous)[13]。并且水生昆虫幼虫感器类型、数量和密度均少于已有研究的各种陆生昆虫,可能是由水生昆虫与陆生昆虫栖息环境的显著差异造成的,或与昆虫幼虫形态下触角尚未发育完全有关。

昆虫所处的环境不同,致使不同类型触角感器所接受的外界信息有一定差异。Altner 等的研究结果指出:触角感器表皮孔的存在与否是判断该感器是否为化学感器的基本依据[16],表皮整体覆盖有很多孔的,便于高效接触化学因子,被认为是嗅觉感器;仅顶端有孔的,可在昆虫主观控制下感知化学物质,可能是味觉感器[12][16]。Elda 和 Reborra 对水生昆虫锥形感器的结构推断已经认定是化学感器(chemosensors)[12];古北泥蛉的腔锥形感器,每个触角 1~2 个,而宽翅蜻蜓(*Libellula depressa*),位于第一和第二鞭毛节的腹侧和鞭毛的顶端,并且每节 4~5 个[16]。并且发现有类似腺体的结构,可能具有感知水体中 CO<sub>2</sub> 浓度等化学感器的功能[16]。通过对古北泥蛉幼虫触角感器的观察,刺形感器、锥型感器与毛形感器,数量较少且表面均似光滑无孔的结构。故推测:三种感器可能均不是化学感器,或者幼虫尚未发育出完整的结构。因此,应以古北泥蛉成虫的触角感器进行超微结构观察,进一步探索其感器的功能。

古北泥蛉幼虫生活在水中,推测其毛形感器,锥形感器和刺形感器中的一种或几种可能是感知温度、水压(所处深度)和水流状态的机械传感器(mechanosensory)。

泥蛉科种类稀少,分布范围有限,原因可能在于其不具有敏感的感知环境变化的能力,从而不能及时作出反应,容易在环境改变时死亡,进而导致其种群分布范围小。然而本实验尚不能确切证明古北泥蛉对环境因子的感知与反应能力,可能其感器不在触角上或有其他的感觉与反应机制,仍需后续实验进一步进行研究证明。

## 致 谢

感谢东北林业大学林学院孟昭军老师在昆虫触角采集和处理过程中给予的帮助和指导。

## 参考文献

- [1] 马瑞燕,杜家纬.昆虫的触角感器[J].昆虫知识,2000,37(3):179-183.
- [2] Schneider, D. (1964) Insect Antennae. *Annual Review of Biochemistry*, **9**, 103-122. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.09.010164.000535>
- [3] Zacharuk, R.Y. (1980) Ultrastructure and Function of Insect Chemosensilla. *Annual Review of Entomology*, **25**, 27-47. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.25.010180.000331>
- [4] Voegelé, J., Cals-Usciat, J., Daumal, J., et al. (1975) Structure de l'antenne femelle des Trichogramma. *Entomophaga*, **20**, 161-169. <https://doi.org/10.1007/BF02371656>
- [5] Olson, D.M. and Andow, D.A. (1993) Antennal Sensilla of Female *Trichogramma nubiale* (Ertle and Davis) (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and Comparisons with Other Parasitic Hymenoptera. *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, **22**, 507-520. [https://doi.org/10.1016/0020-7322\(93\)90037-2](https://doi.org/10.1016/0020-7322(93)90037-2)
- [6] 陈德明,张人骥,林文娜,等.蜚蠊尾须毛形振动感受器的反应性[J].北京大学学报(自然科学版),1980(3):43-47.
- [7] 杜家纬,邱寿林,葛旦华,等.高速液体色谱的一种新型生物检测器——“昆虫触角电位”的研制[J].分析仪器,1979(4):52-56.
- [8] 尹文英,酆一平.棉红铃虫触角感受器的扫描电镜观察[J].昆虫学报,1980,23(2):123-129.
- [9] 杜家纬.昆虫信息素及其应用[M].北京:中国林业出版社,1988.
- [10] 孟联忠, Kaissling, K.E. 多音天蚕和柞蚕的嗅觉感受细胞对性外激素组分的反应特性[J].昆虫学报,1994,37(3):

257-264.

- [11] 吴才宏. 蓖麻蚕雄蛾触角的嗅觉感受细胞对性信息素各组分的反应[J]. 昆虫学报, 1993, 36(4): 385-388.
- [12] Gaino, E. and Rebora, M. (1999) Larval Antennal Sensilla in Warter-Living Insects. *Microscopy Research & Technique*, **47**, 440-457. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0029\(19991215\)47:6<440::AID-JEMT7>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0029(19991215)47:6<440::AID-JEMT7>3.0.CO;2-O)
- [13] 刘光宇, 赵加普, 柴方营, 等. 古北短丝蜉幼虫触角感器超微结构观察[J]. 世界生态学, 2019, 8(1): 1-8.
- [14] 川和禎次, 谷田一三. 水产水生昆虫科·属·种检索表(第二版) [M]. 东京: 东海大学出版社, 2018.
- [15] 余海中. 昆虫触角感受器研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(14): 4238-4240.
- [16] 那杰, 于维熙, 等. 昆虫触角感器的种类及其生理生态学意义[J]. 沈阳师范大学学报, 2008, 26(2): 213-216.