# 毛角豆芫菁成虫触角超微结构的观察

周治成， 刘洋洋， 李凤娥， 陈祥盛*

（贵州大学昆虫研究所，贵州省昆虫资源开发利用特色重点实验室，贵阳 550025）

**摘要** 为了增补和完善毛角豆芫菁 *Epicauta hirticornis* Haag-Rutenberg 雌雄成虫触角形态特征描述，并为揭示其生物学功能提供理论依据，本研究利用扫描电镜对毛角豆芫菁雌雄成虫触角超微结构进行了观察。结果表明，毛角豆芫菁雌雄成虫触角感器类型、数量及分布既有共性又存在明显差异。雌雄成虫触角共有的感器分为 3 类 6 种，即 3 种毛形感器（ST1、ST2、ST3）、2 种锥形感器（SB1、SB2）和 Böhm 氏鬃毛（BB）；雄虫触角特有的感器类型包括锥形感器（SB3）和耳形感器（SA）；而雌虫触角特有的感器类型有钟形感器（SCa）和鳞形感器（SQ）。此外，对毛角豆芫菁成虫触角各类感器的功能进行了讨论、分析和推测。

**关键词** 毛角豆芫菁； 触角； 感器； 扫描电镜； 功能

**中图分类号：** S 433.5 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019169

# Observation of the fine structure of antennal sensilla of *Epicauta hirticornis*（Coleoptera，Heteromera，Tenebrionoidea）

ZHOU Zhicheng， LIU Yangyang， LI Feng'e， CHEN Xiangsheng*

（*Institute of Entomology*，*Special Key Laboratory for Development of Insect Resources*，*Guizhou University*，*Guiyang* 550025，*China*）

**Abstract** In order to supplement detailed data for the morphological characteristics of the main antenna sensilla of *Epicauta hirticornis*（Haag-Rutenberg，1880）and to provide theoretical basis for revealing their ecological function，the fine structure of antennal sensilla of *E. hirticornis* were observed by scanning electron microscope（SEM）. The results showed that there were three types and six kinds of antenna sensilla observed on the antennae of both sexes，including three kinds of sensillum trichodeas（ST1，ST2，ST2），two kinds of sensilla basiconca（SB1，SB2）and Böhm bristles（BB）. In addition，there were some unique sensilla：sensilla basiconca 3（SB3）and sensilla auricillica（SA）on the antennae of male，and sensilla campaniformia（SCa）and sensilla squamiformia（SQ）on the antennae of female. At the same time，the functions of the sensilla of *E. hirticornis* adults were discussed，analyzed and speculated.

**Key words** *Epicauta hirticornis*； antenna； sensilla； scanning electron microscope； function

毛角豆芫菁 *Epicauta hirticornis* Haag-Rutenberg 隶属于鞘翅目 Coleoptera，异跗节类 Heteromera，拟步甲总科 Tenebrionoidea，芫菁科 Meloidae，豆芫菁属 *Epicauta*[1]，体内富含斑蝥素（cantharidin）。近年来，研究人员通过对斑蝥素及其衍生物抗癌活性的研究，发现斑蝥素对食管癌、肺癌、前列腺癌、胃癌、肝癌等有明显抑制作用[2-4]，因而其具有重要的药用价值。芫菁科昆虫具有复变态生活史，幼虫食性单一，以蝗虫卵为食或寄生于蜂巢内，是控制蝗虫的重要生防昆虫[5]，成虫植食性，其具有群居性、化学防御、耐旱性等生物学特性[6-9]。

昆虫触角的主要功能有嗅觉、触觉与听觉，其表面具有不同类型的感觉器，是昆虫接收信息的重要器官，在昆虫感知外界环境、取食和求偶等方面起着重要作用[10]。已有学者对中华豆芫菁 *E. chinensis* Laporte[10]、扁角豆芫菁 *E. impressicornis* Pic[11]、红

**收稿日期：** 2019-04-03 **修订日期：** 2019-06-03
**基金项目：** 国家自然科学基金（81460571）；贵州省高层次创新型人才项目（黔科合人才 20154021）；贵州省科技创新人才团队建设项目（黔科合人才团队 20144001 号）
**致 谢：** 感谢贵州省山地珍稀动物与经济昆虫重点实验室（贵阳学院）的李国勇博士在标本采集和文章撰写过程中提供的帮助。
* 通信作者 E-mail：chenxs3218@163.com

头豆芫菁 *E. ruficeps* Illiger[12]、蓝绿齿角芫菁 *Cerocoma schreberi* Fabricius[13]、钟短翅芫菁 *Meloe campanicollis* Pinto & Selander[14]的触角感器进行了研究，并初步推断了它们的作用；也有学者对眼斑沟芫菁 *Hycleus cichorii* Linnaeus、大斑沟芫菁 *H. phaleratus* Pallas、长腹伪斑芫菁 *Pseudabris longiventris* Blair、长角伪斑芫菁 *P. hingstoni* Blair、苹斑芫菁 *Mylabris calida* Pallas 和丽斑芫菁 *M. speciosa* Pallas 的触角感器进行了报道，但未对其功能进行研究探讨[15]。关于毛角豆芫菁，此前仅有其外部形态和生殖器的相关描述[1]，而有关其触角感器的精细结构至今未见报道。本文通过观察毛角豆芫菁雌雄成虫触角感器的形态、类型、数量和分布，并初步推测其触角感器的作用，以期为深入了解其触角结构与功能、行为习性研究提供参考资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试成虫

毛角豆芫菁雌雄成虫各 9 头，2018 年 5 月 6 日采自贵州省罗甸县罗悃镇植被丰富的田埂边、小溪边及沟谷边。

### 1.2 样品处理及观察

将野外采回的新鲜标本先放于 4℃的冰箱中处理 1 d，然后置于解剖镜下，用手术刀切下整个触角，用生理盐水清洗 3 次，再用超声波清洗仪(HS10260D)处理 10 min 后，用无菌蒸馏水清洗 5 次，然后依次用 30%、50%、70%、80%、90%乙醇和无水乙醇逐级脱水，各梯度均脱水 20 min，之后用导电胶带按照不同的观察面粘在样品座上，自然干燥 1～2 d，最后进行离子溅射镀金，在 JEOL 的 JSM-6490LV 型高低真空扫描电镜下对雌雄成虫触角整体和各节上感受器的形状和数量进行观察，拍照并记录[16]。

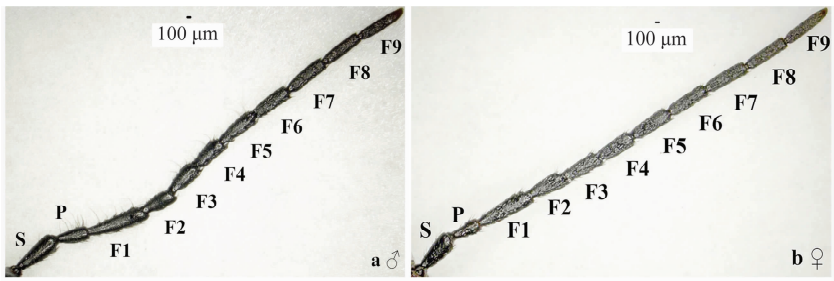
### 1.3 数据分析

选取毛角豆芫菁雌、雄成虫各 9 头，对触角背面和腹面的触角感器进行鉴定和统计。其中，触角感器的鉴定主要参考彩万志等[17]、Schneider[18]和 Zacharuk[19]对触角感器的命名。所得的数据通过 SPSS 22.0 采用 $t$ 检验进行分析比较($P<0.05$)。

## 2 结果与分析

### 2.1 形态特征

毛角豆芫菁的雌雄成虫触角均为线状，由柄节、梗节和鞭节组成，鞭节分为 9 亚节(图 1)。雄虫触角长(12 658.63±102.06)μm，雌虫触角长(12 482.99±310.77)μm，两者长度有显著差异。雄虫触角柄节长(1 351.07±10.06)μm、梗节长(889.06±6.93)μm，第 1～4 鞭节长分别为(1 654.83±7.00)、(1 064.35±18.58)、(1 000.38±29.81)、(978.56±3.42)μm，均显著长于雌虫触角相对应的柄节、梗节和第 1～4 鞭节。雌虫触角的柄节宽(506.72±20.33)μm、梗节宽(406.54±21.90)μm 和第 1～2 鞭节宽(469.99±17.18)、(454.33±21.65)μm，显著宽于雄虫相对应的柄节、梗节和第 1～2 鞭节(表 1)。




a: ♂; b: ♀; S: 柄节; P: 梗节; F: 鞭节
a: Male; b: Female; S: Scape; P: Pedicel; F: Flagellum

**图 1 毛角豆芫菁雌雄成虫触角的整体形态**

**Fig. 1 Antennal morphology of *Epicauta hirticornis***

### 2.2 触角感器的类型、分布、形态以及数量

毛角豆芫菁雌雄成虫触角均存在 3 种毛形感器(ST1、ST2、ST3)、2 种锥形感器(SB1、SB2)和 1 种 Böhm 氏鬃毛(BB)。此外，1 种钟形感器(SCa)和 1 种鳞形感器(SQ)为雌性特有，1 种锥形感器(SB3)和 1 种耳形感器(SA)为雄性特有。

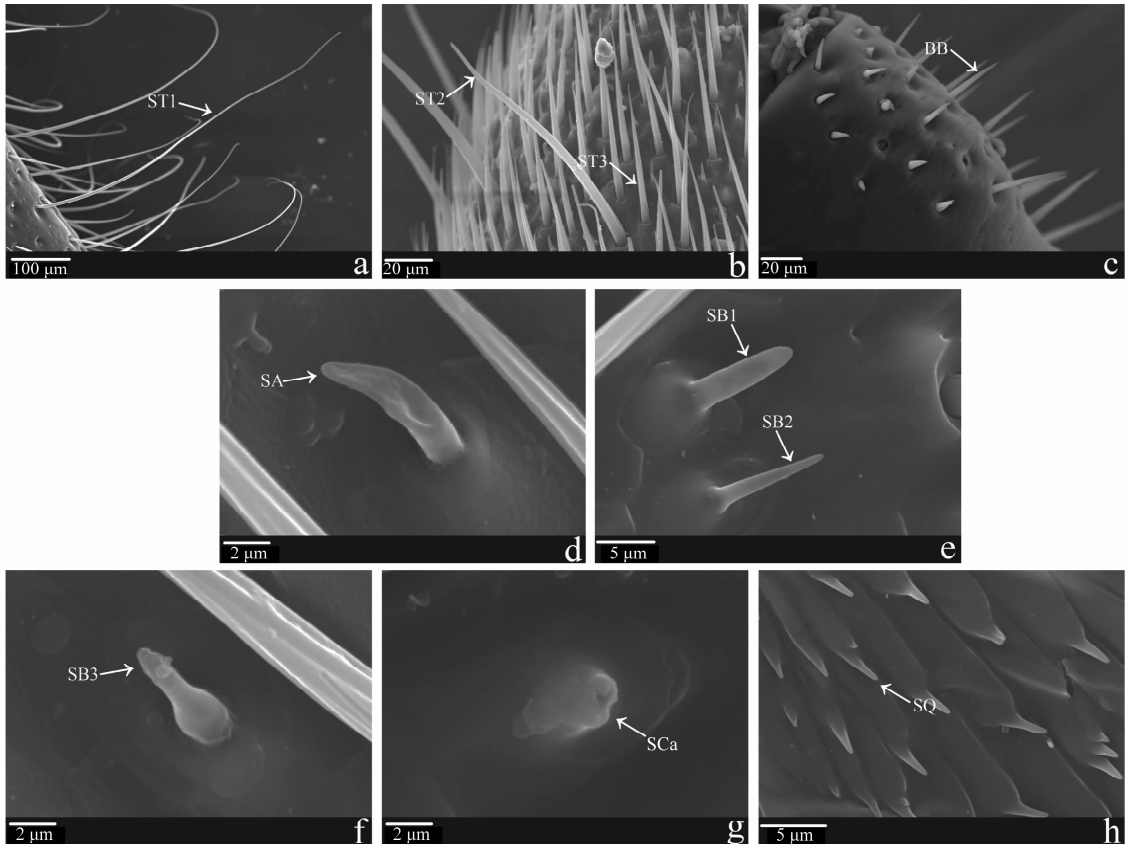
#### 2.2.1 毛形感器(Sensilla trichodea, ST)

毛形感器是毛角豆芫菁触角表面分布最广、数

量最多的一类感器，由基部到端部渐细，大部分表面具明显纵纹、弯曲弧度大，根据其长度、顶端、外壁和形状不同分为 3 种类型：ST1、ST2 和 ST3。ST1（图 2a）是其中最长的、顶端钝圆、外壁光滑且弯曲弧度大，着生于表皮凹陷的浅窝内，分布在雌、雄虫触角的各节，在雌虫触角上长（635.12±16.34）μm，基部直径（17±2.12）μm，在雄虫触角上长（946.43±18.47）μm，基部直径（26±3.54）μm。ST2（图 2b）着生于表皮凹陷的基窝内，从基部到端部逐渐变细，顶端钝圆、外表面具明显纵纹和整体弯曲弧度小，分布于雌、雄虫第 3 至第 9 鞭节上，在雌虫触角上长（79.46±1.28）μm，基部直径（13.22±3.16）μm，在雄虫触角上长（125.53±2.21）μm，基部直径（16.43±2.74）μm。ST3（图 2b）直立着生于表皮凹陷的基窝内，从基部 2/3 处急剧变细，端部尖细、略弯，表面具明显纵纹，分布于雌、雄虫各节，其数量是毛形感器中最多的（表 2 和 3）。

**2.2.2**　锥形感器（Sensilla basiconca，SB）

锥形感器长度较毛形感器短，外壁光滑，直立着生于表皮基窝内，端部钝圆，基部有一向上隆起的臼状窝。根据其长度和宽度的不同可分为 3 种类型：SB1、SB2 和 SB3。SB1（图 2e）从基部到 3/4 处大小没有发生变化，从 3/4 处逐渐变细，端部钝圆，分布于雌、雄虫各鞭节上，雌虫 SB1 长（6.62±0.53）μm，基部直径（1.67±0.33）μm，雄虫 SB1 长（9.48±0.74）μm，基部直径（2.18±0.67）μm。SB2（图 2e）呈短刺状，由基部到端部逐渐变细，端部钝圆，零散分布于雌、雄虫各鞭节，雌虫 SB2 长（6.58±0.44）μm，基部直径（0.98±0.64）μm，雄虫 SB2 长（7.23±0.63）μm，基部直径（1.65±0.57）μm。SB3（图 2f）从基部到 1/2 处膨大后急剧变细，顶端钝圆，长度（2.86±0.46）μm，基部直径（1.61±0.55）μm，只分布于雄虫第 5 至第 9 鞭节上（表 2 和 3）。




a: 毛形感器1 (ST1); b: 毛形感器2 (ST2)和毛形感器3 (ST3); c: Böhm氏鬃毛(BB); d: 耳形感器(SA); e: 锥形感器1 (SB1)和锥形感器2 (SB2); f: 锥形感器3 (SB3); g: 钟形感器(SCa); h: 鳞形感器 (SQ)

a: Sensilla trichodea 1 (ST1); b: Sensilla trichodea 2 (ST2) and sensilla trichodea 3 (ST3); c: Böhm bristles (BB); d: Sensilla aurcillica (SA); e: Sensilla basiconca 1 (SB1) and sensilla basiconca 2 (SB2); f: Sensilla basiconca 3 (SB3); g: Sensilla campaniformia (SCa); h: Sensilla squamiformia (SQ)

**图 2　毛角豆芫菁成虫触角感器类型**

**Fig. 2　Morphology of antennal sensilla of *Epicauta hirticornis***

**表 1　毛角豆芫菁成虫触角各节的长度和宽度[1)]**

**Table 1　Mean lengths and widths of antenna segments of *Epicauta hirticornis***

μm

| 指标 Index | 性别 Sex | 柄节 Scape | 梗节 Pedicel | 鞭节 Flagellum F1 | 鞭节 Flagellum F2 | 鞭节 Flagellum F3 | 鞭节 Flagellum F4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 长/μm　Length | 雌 | (1 311.81±62.30)b | (863.43±37.42)b | (1 494.30±57.03)b | (983.94±10.98)b | (999.02±7.23)b | (965.33±19.88)b |
| | 雄 | (1 351.07±10.06)a | (889.06±6.93)a | (1 654.83±7.00)a | (1 064.35±18.58)a | (1 000.38±29.81)a | (978.56±3.42)a |
| 宽/μm　Width | 雌 | (506.72±20.33)a | (406.54±21.90)a | (469.99±17.18)a | (454.33±21.65)a | (438.41±19.87)b | (408.52±16.62)b |
| | 雄 | (493.78±4.56)b | (364.48±6.77)b | (470.75±6.86)a | (449.70±10.33)b | (459.49±12.91)a | (453.51±13.68)a |

| 指标 Index | 性别 Sex | 鞭节 Flagellum F5 | 鞭节 Flagellum F6 | 鞭节 Flagellum F7 | 鞭节 Flagellum F8 | 鞭节 Flagellum F9 | 全长 Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 长/μm　Length | 雌 | (1 113.62±17.34)a | (1 130.38±23.79)a | (1 169.79±34.87)a | (1 115.24±21.36)a | (1 362.83±46.83)a | (12 482.99±310.77)b |
| | 雄 | (1 048.88±9.90)b | (1 083.57±13.86)b | (1 137.89±19.07)b | (1 109.58±28.42)b | (1 330.19±73.62)b | (12 658.63±102.06)a |
| 宽/μm　Width | 雌 | (378.90±12.14)b | (351.65±12.76)b | (334.01±9.90)b | (282.47±6.67)b | (248.61±4.31)b | — |
| | 雄 | (402.00±8.32)a | (365.98±5.62)a | (339.81±4.28)a | (315.21±5.36)a | (268.05±5.19)a | — |

1) 表中数据为平均值 ± 标准误($n$=9)；不同字母表示雌、雄成虫触角同种感器长度或宽度有显著差异($t$ 检验，$P$< 0.05)；“ — ”表示无此结构。

Date are presented as means ± SE ($n$=9). Means in the same column followed by different letters are significantly different between male and female ($t$-test, $P$<0.05). “—”indicates absent.

**表 2　毛角豆芫菁成虫触角各感器的长度与直径[1)]**

**Table 2　The size and shape of each type of antenna sensilla identified in *Epicauta hirticornis***

| 感器类型 Sensillum type | 长/μm　Length 雌 Female | 长/μm　Length 雄 Male | 直径/μm　Basal diameter 雌 Female | 直径/μm　Basal diameter 雄 Male | 顶端 Tip | 外壁 Wall | 形状 Shape | 基窝 Socket |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ST1 | (635.21±16.34)b | (946.43±18.47)a | (17±2.12)b | (26±3.54)a | 钝圆 | 光滑 | 弯曲 | 狭窄 |
| ST2 | (79.46±1.28)b | (125.53±2.21)a | (13.22±3.16)b | (16.43±2.74)a | 钝圆 | 具纵纹 | 弯曲 | 狭窄 |
| ST3 | (51.21±0.34)a | (52.67±0.65)a | (3.11±0.54)a | (3.41±0.84)a | 尖细 | 具纵纹 | 直立 | 狭窄 |
| BB | (16.39±0.77)b | (44.48±0.36)a | (0.59±0.29)b | (6.75±0.29)a | 尖细 | 光滑 | 直立 | 狭窄 |
| SA | — | 5.21±0.53 | — | 1.02±0.35 | 钝圆 | 光滑 | 弯曲 | 狭窄 |
| SB1 | (6.62±0.53)b | (9.48±0.74)a | (1.67±0.33)a | (2.18±0.67)a | 钝圆 | 光滑 | 直立 | 狭窄 |
| SB2 | (6.58±0.44)a | (7.23±0.63)a | (0.98±0.64)a | (1.65±0.57)a | 钝圆 | 光滑 | 直立 | 狭窄 |
| SB3 | — | 2.86±0.46 | — | 1.61±0.55 | 钝圆 | 光滑 | 直立 | 狭窄 |
| SCa | — | — | 2.32±0.36 | — | — | — | — | — |
| SQ | 3.71±0.17 | — | 1.72±0.74 | — | 钝圆 | 光滑 | 直立 | 狭窄 |

1) 表中数据为平均值 ± 标准误($n$=9)；不同字母表示雌、雄成虫触角同种感器长度和宽度有显著差异($t$ 检验，$P$<0.05)；“ —”表示无此结构。

ST1：毛形感器 1；ST2：毛形感器 2；ST3：毛形感器 3；BB：Böhm 氏鬃毛；SA：耳形感器；SB1：锥形感器 1；SB2：锥形感器 2；SB3：锥形感器 3；SCa：钟形感器；SQ：鳞形感器。下同。

Date are presented as mean ± SE($n$=9). Means in rows followed by same letter are significantly different in male and female ($t$-test, $P$<0.05). “—”indicates absent.

TS1：ST1：Sensilla trichodea 1；ST2：Sensilla trichodea 2；ST3：Sensilla trichodea 3；BB：Böhm bristles；SA：Sensilla aurcillica；SB1：Sensilla basiconca 1；SB2：Sensilla basiconca 2；SB3：Sensilla basiconca 3；SCa：Sensilla campaniformia；SQ：Sensilla squamiformia. The same below.

**表 3　毛角豆芫菁成虫各触角感器在触角各节的分布与数量**

**Table 3　Abundance and distribution of each type of antenna sensilla of *Epicauta hirticornis***

| 感器类型 Sensillum type | 性别 Sex | 感器数量/个 Number of sensilla | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 柄节 Scape | 梗节 Pedicel | 鞭节 Flagellum | | | | | | | | | 总数 Total |
| | | | | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 | F9 | |
| ST1 | 雌 | 18±0.47 | 27±0.43 | 39±0.29 | 44±0.41 | 47±0.45 | 49±0.19 | 56±0.16 | 54±0.51 | 52±0.58 | 44±0.36 | 37±0.45 | 467±3.21 |
| | 雄 | 65±0.35 | 115±0.55 | 142±0.43 | 165±0.34 | 208±0.62 | 302±0.46 | 405±0.36 | 355±0.57 | 330±0.58 | 257±0.39 | 184±0.72 | 2528±6.39 |
| ST2 | 雌 | — | — | — | — | 18±0.23 | 34±0.41 | 48±0.54 | 58±2.35 | 63±3.12 | 78±2.27 | 91±3.12 | 394±4.21 |
| | 雄 | — | — | — | — | 24±0.75 | 46±0.54 | 57±0.65 | 64±2.46 | 78±2.58 | 89±2.31 | 109±2.93 | 467±4.17 |
| ST3 | 雌 | 242±2.17 | 284±2.64 | 385±3.43 | 409±2.26 | 476±2.38 | 521±2.36 | 526±2.72 | 562±4.64 | 636±1.83 | 721±2.78 | 789±3.86 | 5 549±12.16 |
| | 雄 | 152±2.13 | 166±2.41 | 185±2.56 | 204±2.34 | 302±0.86 | 416±2.70 | 436±3.09 | 445±1.28 | 467±3.54 | 489±3.49 | 554±3.91 | 3 816±14.31 |
| BB | 雌 | 112±2.15 | 64±2.01 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 雄 | 132±2.34 | 83±2.11 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| SA | 雌 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 雄 | — | — | — | — | 22±0.21 | 34±0.43 | 43±0.74 | 56±1.35 | 66±1.32 | 73±2.09 | 121±3.42 | 417±3.36 |
| SB1 | 雌 | — | — | 13±0.54 | 24±0.46 | 37±0.15 | 49±0.21 | 53±0.38 | 56±0.59 | 65±0.37 | 76±0.36 | 132±1.37 | 505±2.38 |
| | 雄 | — | — | 16±0.46 | 25±0.34 | 38±0.22 | 42±0.32 | 54±0.30 | 58±0.52 | 68±0.62 | 79±0.85 | 143±1.67 | 532±3.47 |
| SB2 | 雌 | — | — | 11±2.03 | 13±2.45 | 25±3.66 | 36±4.26 | 49±2.02 | 59±2.23 | 62±2.66 | 71±4.31 | 82±1.63 | 469±5.56 |
| | 雄 | — | — | 14±2.23 | 23±2.89 | 36±4.32 | 43±2.61 | 56±2.52 | 61±1.47 | 73±2.27 | 81±3.04 | 89±3.94 | 476±6.02 |
| SB3 | 雌 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 雄 | — | — | — | — | — | — | 12±0.34 | 25±1.75 | 33±1.41 | 48±2.37 | 63±2.52 | 181±2.16 |
| SCa | 雌 | — | — | 11±0.21 | 18±0.62 | 32±0.65 | 46±0.78 | 56±0.74 | 87±1.43 | 98±2.18 | 110±1.21 | 133±3.01 | 593±4.67 |
| | 雄 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| SQ | 雌 | — | — | — | — | — | — | — | 36±0.87 | 54±0.35 | 65±0.56 | 78±1.59 | 235±3.25 |
| | 雄 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

**2.2.3** Böhm 氏鬃毛(Böhm bristles, BB)

Böhm 氏鬃毛呈短刺形,比锥形感器尖、长,直立于表皮基窝内,外壁光滑无孔,只分布在柄节与头的节间膜和梗节基部(图 2c),雌虫 Böhm 氏鬃毛长(16.39±0.77)μm,基部直径(0.59±0.29)μm,雄虫 Böhm 氏鬃毛长(44.48±0.36)μm,基部直径(6.57±0.29)μm(表 2 和 3)。

**2.2.4** 耳形感器(Sensilla auricillica, SA)

耳形感器从基部到 1/3 处为短棒状,基部愈合,中部向内卷曲并形成凹下槽,端部钝圆、略弯曲,形似耳状(图 2d),长(5.21±0.53)μm,基部直径(1.02±0.35)μm,只分布于雄虫第 3 至第 9 鞭节上(表 2 和 3)。

**2.2.5** 钟形感器(Sensilla campaniformia, SCa)

钟形感器呈帽状结构,形似纽扣,周围有 1 圈光滑而清晰的厚壁边缘(图 2g),不具基窝,基部直径(2.32±0.36)μm,只分布于雌虫的各鞭节(表 2 和 3)。

**2.2.6** 鳞形感器(Sensilla squamiformia, SQ)

鳞形感器外形与鳞片相似,但比一般鳞片狭,端部尖细,基部有臼状窝,有的端部有 2～3 个分叉(图 2h),长(3.71±0.17)μm,基部直径(1.72±0.74)μm,只分布于雌虫触角第 6 至第 9 鞭节上(表 2 和 3)。

## 3 结论与讨论

毛角豆芫菁成虫触角感器有毛形感器(ST)3 种、锥形感器(SB)3 种、Böhm 氏鬃毛(BB)1 种、耳形感器(SA)1 种、钟形感器(SCa)1 种和鳞形感器(SQ)1 种。钟形感器(SCa)和鳞形感器(SQ)为雌虫特有,锥形感器(SB3)和耳形感器(SA)为雄虫特有。毛角豆芫菁的触角感器类型与豆芫菁属其他已报道的种类存在差异,可能是生活环境、种间遗传距离、行为习性等原因造成[18]。其与扁角豆芫菁[11]的触角感器类型相比,后者具有刺形感器(sensilla chaetica)、凹槽钉形感器(gooved pegs)、锥形感器(sensilla basiconca)、耳形感器(sensilla auricillica)、钟形感器(sensilla campaniformia)、Böhm 氏鬃毛(BB),种类较少;而其与红头豆芫菁[12]和中华豆芫菁[10]的触角感器类型相比,红头豆芫菁 *E. ruficeps* 具有的刺形感器(sensilla chaetica)、中华豆芫菁 *E. chiensis* 所具有的腔锥形感器(sensilla coeloconica)和芽孢形感器(sensilla gemmiformium)是毛角豆芫菁所不具有的。

毛形感器几乎存在于每一种昆虫的触角上,很多研究都表明其具有感受机械刺激和化学信息素刺激的功能[20-21]。毛角豆芫菁雄虫的毛形感器 1(ST1)数量多于雌虫的,与红头豆芫菁雄虫特有的毛形感器 ST3 形态相似,推测该感器可能具有感受机械刺激的作用。而毛角豆芫菁雄虫毛形感器 2(ST2)的数量也显著多于雌虫的,也与红头豆芫菁的毛形感器 ST2 在形态上很相似,其在红头豆芫菁中具有嗅觉和感受性信息素的作用[12],推测毛角豆芫菁的 ST2 感器可能具有感受性信息素的作用。

毛角豆芫菁的锥形感器 SB1、SB2 与红头豆芫菁的锥形感器 SB2、SB1 在形态上相似,而该类感器功能在红头豆芫菁中为具有识别气味的功能,是一种嗅觉感受器[12],推测可能毛角豆芫菁的锥形感器也为嗅觉感器,在寄主搜寻和危险趋避等行为中起到了关键的作用[22]。毛角豆芫菁的锥形感器 SB3 仅存在于雄虫触角鞭节上,推测其可能具有利于雄虫识别雌性个体释放的信息素的功能[23],但该类感器的具体功能也还需通过电生理方法进行进一步研究。

Böhm 氏鬃毛在鞘翅目昆虫中广泛分布[24],被认为是一种感受重力的机械感器[18]。毛角豆芫菁跟其他鞘翅目昆虫一样,Böhm 氏鬃毛分布于雌、雄触角的柄节与头的节间膜和梗节基部,推测其可能是重力感受器[25]。

耳形感器被认为是一种化学感器,可能与植物气味感受相关[26-27]。丽斑芫菁触角上发现存在耳形感器,但作者没有进一步对其功能进行描述[15],而毛角豆芫菁耳形感器的具体功能也还需通过电生理方法进行进一步研究。

毛角豆芫菁的钟形感器仅分布于雌虫触角上,而该类感器在扁角豆芫菁、红头豆芫菁和蓝绿齿角芫菁的雌雄虫触角上均有分布且均没有明确其功能,但有文献记载钟形感器具有对气味、二氧化碳和温湿度敏感的功能[28-29]。

毛角豆芫菁的鳞形感器与东方齿甲 *Uloma rubripes* Hope 的鳞形感器形态相似[30],到目前为止,此感器的电生理功能和分子机制未见报道[31],该感器的功能还需通过电生理方法进行进一步研究。

本研究观察了毛角豆芫菁雌雄成虫的触角及其触角感器的超微结构，分析推测了不同感器的功能，为进一步研究毛角豆芫菁的形态学、分类学和行为学等提供了一定的理论基础和科学依据，同时完善了我国鞘翅目芫菁科昆虫的研究。但本研究对触角感器功能的分析只是基于前人对其他昆虫感器的研究基础上进行的推测，要明确这些感器在毛角豆芫菁中的功能，还需要进一步通过行为学和电生理学等方法进行研究。

## 参考文献


[1] 杨玉霞，任国栋. 中国毛胫豆芫菁组分类研究(鞘翅目，芫菁科)[J]. 动物分类学报，2007，32(3)：711－715.

[2] 娄田田，杜娟，陈祥盛，等. 斑蝥素及衍生物抗肿瘤机制的研究进展[J]. 亚太传统医药，2012，8(10)：205－207.

[3] 李晓飞，侯晓晖，陈祥盛. 芫菁斑蝥素对喉癌细胞和胃癌细胞的抑制作用[J]. 昆虫学报，2009，52(9)：946－951.

[4] 胡卫，谭复成. 去甲斑蝥素抗肝癌的研究概况[J]. 辽宁中医药大学学报，2007，9(2)：39－40.

[5] 陈元生，涂小云. 芫菁科昆虫的滞育、饲养及生防利用研究进展[J]. 中国植保导刊，2013，33(5)：16－24.

[6] 刘洋洋，潘昭，陈祥盛. 贵州 5 种药用豆芫菁形态比较研究[J]. 四川动物，2016，35(1)：84－92.

[7] 母银林，陈祥盛. 扁角豆芫菁的繁殖习性观察[J]. 贵州农业科学，2014，427(7)：49－52.

[8] 母银林，陈祥盛. 扁角豆芫菁幼虫取食与生长发育关系研究[J]. 环境昆虫学报，2015，37(2)：407－411.

[9] LIU Yangyang，LI Guoyong，YANG Lin，et al. Demography and mass rearing of the medicinal blister beetle *Epicauta impressicornis* (Pic) (Coleoptera：Meloidae) at different temperatures [J]. Journal of Economic Entomology，2018，111(5)：2364－2374.

[10] 李秀敏，任国栋，王新谱. 中华豆芫菁的触角感器与类型分布[J]. 河北大学学报(自然科学版)，2009，29(4)：421－426.

[11] LIU Yangyang，LI Guoyong，YANG Lin，et al. Observation of fine structure of antennal sensilla of the blister beetle *Epicauta impressicornis* (Coleoptera：Meloidae) adults [J]. 昆虫学报，2019，62(4)：442－452.

[12] ZHANG Guona，WANG Jinjun. Descriptions of antennal sensillae of the red-headed blister beetle，*Epicauta ruficeps* (Illiger) (Coleoptera，Meloidae) [J]. 动物分类学报，2010，35(1)：1－10.

[13] 李秀敏，任国栋，王新谱. 蓝绿齿角芫菁异型触角的扫描电镜观察(鞘翅目，芫菁科)[J]. 河北大学学报(自然科学版)，2013，33(4)：408－412.

[14] BLAND R G. Antennal and mouthpart sensilla of the blister beetle，*Meloe campanicollis* (Coleoptera：Meloidae) [J]. Great Lakes Entomologist，1986，19(4)：209－215.

[15] 李秀敏，任国栋，王新谱. 基于触角感器的部分芫菁属、种分类地位和关系分析(鞘翅目：芫菁科)[J]. 应用昆虫学报，2013，50(1)：242－252.

[16] 刘洋洋. 贵州药用芫菁形态学和分子鉴定[D]. 贵阳：贵州大学，2016：76.

[17] 彩万志，庞雄飞，花保祯，等. 普通昆虫学[M]. 第 2 版. 北京：中国农业大学出版社，2015：31－259.

[18] SCHNEIDER D. Insect antenna [J]. Annual Review of Entomology，1964，9：103－122.

[19] ZACHARUK R Y. Sensilla of immature insect [J]. Annual Review of Entomology，1991，36：331－354.

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

[21] MERIVEE E，RAHI M，LUIK A. Antennal sensilla of the click beetle *Melanotus villosus* (Geoffroy) (Coleoptera：Elateridae) [J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology，1999，28(1/2)：41－51.

[22] 王涛. 红脂大小蠹成虫触角感器的扫描电镜观察[J]. 植物保护，2017，43(2)：112－128.

[23] ZHANG Jian，GUAN Lin，REN Bingzhong. Fine structure and distribution of antennal sensilla of longicorn beetles *Leptura arcuata* and *Leptura aethiops* (Coleoptera：Cerambycidae) [J]. Annals of the Entomological Society of America，2011，104(4)：778－787.

[24] ONAGBOLA E O，FADAMIRO H Y. Scanning electron microscopy studies of antennal sensilla of *Pteromalus cerealellae* (Hymenoptera：Pteromalidae) [J]. Micron，2008，39(5)：526－535.

[25] 唐培安，薛昊，孔德英，等. 锈赤扁谷盗触角感器的扫描电镜观察[J]. 植物保护，2015，41(1)：74－88.

[26] 王锦达，王伟重，高三基，等. 二点螟触角感器的扫描电镜观察[J]. 福建农业学报，2018，33(2)：186－189.

[27] 刘晓梅，凌冰，赵旭伟，等. 黄曲条跳甲触角感器的扫描电镜观察[J]. 环境昆虫学报，2015，37(1)：68－76.

[28] 那杰，于维熙，李玉萍，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(自然科学版)，2008(2)：213－216.

[29] MERIVEE E，VANATOA A，LUIK A，et al. Electrophysiological identification of cold receptors on the antennae of the ground beetle *Pterostichus aethiops* [J]. Physiological Entomology，2003，28(2)：88－96.

[30] 李秀敏. 基于触角表征的鞘翅目系统发育关系分析[D]. 保定：河北大学，2010：22－23.

[31] 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.


(责任编辑：田　喆)