应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2011,48(3):680—687

红缘天牛嗅觉感受器的类型及特点*

肖方叔 刘 强**

(天津师范大学生命科学学院 天津 300387)

摘 要 利用扫描电镜对红缘天牛 *Asias halodendri* (Pallas)的触角、下颚须和下唇须上嗅觉感受器的类型、超微形态结构及分布等特点进行观察。结果表明,红缘天牛触角、下颚须和下唇须上的嗅觉感器共有6类14种。触角上感器共有2类9种,即毛形感器1种,锥形感器8种;触角上毛形感器和Ⅱ型锥形感器长度在雌雄间有显著性差异;Ⅲ型、Ⅶ型和Ⅷ型锥形感器为雌性触角上所特有;Ⅵ型锥形感器仅见于雄性触角;触角上的感受器总数雌性数量多于雄性,背面略多于腹面和侧面。下颚须及下唇须上嗅感器共4类5种,即栓锥形感器2种、板形感器、钟形感器和边缘凹槽形感器各1种;雌性的边缘凹槽形感器明显高于雄性;下颚须和下唇须上雄性感器总数较多,腹面数量多于背面。

关键词 红缘天牛,嗅觉感受器,扫描电镜

The type and characteristic of olfaction sensilla in *Asias halodendri*

XIAO Fang-Shu LIU Qiang**

(College of Life science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract The type, ultrastructure and distribution of the olfactory sensilla of the antenna, maxillary palpus and labial palpus of *Asias halodendri* (Pallas) (Coleoptora: Cerambycidae) were observed with a scanning electron microscope. The results indicate that there are six types and fourteen kinds of sensilla on these three body parts. The antenna has one kind of sensilla trichodea and eight kinds of sensilla basiconicas. There are significant differences between males and females in the length of the sensilla trichodea and sensilla basiconica Ⅱ. Basiconica Ⅲ, basiconica Ⅶ and basiconica Ⅷ are peculiar to females but basiconica Ⅵ is only found in males. The total number of sensilla is greater in females than males, and these are more common on the dorsal than on ventral and lateral surfaces. There are four types and five kinds of sensilla on the maxillary and labial palpus, including two kinds of sensilla styloconica, one kind of sensilla placodea, one kind of sensilla campaniformia and one kind of sensilla eage groove. The sensilla eage groove of females is higher than that of males and males have more ventral than dorsal sensilla.

Key words *Asias halodendri*, olfaction sensilla, SEM

红缘天牛 *Asias halodendri* (Pallas)又称红缘亚天牛(王直诚,2003),隶属鞘翅目(Coleoptera),天牛科(Cerambycidae),天牛亚科(Cerambycinae),亚天牛属(*Asias* Semenov)。分布很广(陈孝达等,1983;唐蒙昌等,1993;孙逢海等,1994;王大洲和王金华,2002;王直诚,2003)。已报道寄主植物包括沙棘、四合木、枣、沙枣、酸枣、小叶榆、刺槐、旱柳、榆、枸杞、糖槭、忍冬、苹果、李、柳、锦鸡儿、栎、白栎、油茶、加杨、梨、葡萄、桃、酸刺24种(陈孝达等,1983;唐蒙昌等,1993;孙逢海等,1994;郭百平和王子科,1998;王大洲和王金华,2002;王直诚,2003;李占文等,2008;王建伟等,2009),是重要经济林木沙棘和濒危植物四合木的主要蛀干害虫之一(范仁俊等,1993,1994;郭百平和王子科,1998;宗世祥等,2006;李升和刘强,2009)。其幼虫蛀食寄主树干心材部分,使树木枯萎死亡(郭百平和王子科,1998;李占文等,2008;李升和刘强,2009)。尤其是近年来,在内蒙

* 资助项目:国家自然科学基金项目(30570344)、天津市自然科学基金项目(09JCYBJC14500)。

**通讯作者,E-mail: lqtjnu@126.com

收稿日期:2010-12-14,接受日期:2011-03-14

古西鄂尔多斯国家级自然保护区,大面积的四合木正遭受红缘天牛等蛀干害虫的严重危害。

天牛生活在多信息化合物综合作用的环境中,其中有影响寄主定位的植物气味化合物和联系种内、种间化学通讯的外激素等他感化合物,它们对天牛的取食、交配和防御等一系列行为活动具有十分重要的意义(宁眺等,2004)。嗅觉感器是昆虫进行化学通讯的重要器官,主要分布在触角、下颚须和下唇须上。本文用扫描电镜研究了红缘天牛嗅感器的类型、形态结构及分布等特点,为其结构与功能以及天牛化学通讯的机制从微形态方面奠定基础。

1　材料与方法

红缘天牛触角取自 2008 年 5 月下旬—6 月中旬采集于内蒙古西鄂尔多斯国家级自然保护区羽化不久的成虫针插干制标本。

选取触角完好的雌、雄红缘天牛成虫标本各 10 头,蒸馏水浸泡还软后,在解剖镜下用镊子和刀片摘取其触角、下颚须和下唇须,分别测量每头标本触角、下颚须和下唇须全长及各节的长度,取其均值用于描述。

取雌雄各 3 头还软后的天牛,在解剖镜下将整个头部切下;浸入蒸馏水中,放入超声波清洗仪震荡 5 min 去除表面尘土和污垢;再放入二甲苯中浸泡 7 min,去除表面蜡质;然后用蒸馏水冲洗数次后自然干燥。清洗时要注意保护观察面,切勿抹擦、挤压,以免引起变形。

将每根触角截成 2 ~ 3 段,以雌、雄和背、腹、侧等分别用双面胶固定在 Φ12 mm 样品台上;用 SCD005Au 离子溅射仪喷金;于 FEI Quanta200 扫描电镜下(真空工作模式)进行观察。

感受器的分类主要依据 Schneider(1964)对触角、下颚须和下唇须感受器的命名系统进行命名。根据扫描电镜观察结果,在触角鞭节各亚节的中部取一个小样方(图 1),将样方放大 1 500 倍,面积约为 28 956.8 μm^2,记录样方内各感器数量,重复 3 根触角,取其平均值,然后将该面积的感受器数量换算为 10 000 μm^2 的单位密度数,再将所得数据进行统计分析。对于柄节和梗节,各类感受器的数量相对较少,根据不同方位的扫描电镜照片进行逐一计数。

图象经 Photoshop CS3 进行处理,触角长度、感器数量及雌雄间差异性比较经 Excel 2003 和 SPSS 13.0 统计软件进行统计处理。

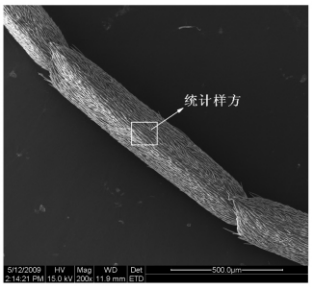


图 1　红缘天牛触角鞭节感受器数量的统计部位

Fig. 1　Statistic position of sensilla on the flagellomeres of antenna in *Asias halodendri*

2　结果与分析

2.1　触角、下颚须和下唇须的一般形态

红缘天牛雌、雄成虫的触角细长,呈黑褐色,线状,由柄节、梗节和鞭节 3 部分构成,共 11 节。表 1 所示两性成虫触角各节长度。雌性触角长度与体长基本相等,长约13 ~ 16mm,雄性触角长约

表 1　红缘天牛雌、雄成虫触角各节平均长度($\bar{x} \pm s, n = 10$)

Table 1　Mean length of antennal segments of male and female *Asias halodendri*

性别 Sex		雌 Female	雄 Male
柄节(Scape, mm)		1.31 ± 0.14	1.26 ± 0.16
梗节(Pedicel, mm)		0.36 ± 0.07	0.30 ± 0.03
鞭节(Flagellum, mm)	1	1.91 ± 0.20	2.10 ± 0.16
	2	1.66 ± 0.14	2.07 ± 0.14
	3	1.76 ± 0.12	2.25 ± 0.23
	4	1.61 ± 0.13	2.22 ± 0.27
	5	1.45 ± 0.09	2.17 ± 0.21
	6	1.30 ± 0.07	2.16 ± 0.25
	7	1.25 ± 0.07	2.18 ± 0.20
	8	1.19 ± 0.09	2.11 ± 0.18
	9	1.37 ± 0.16	3.10 ± 0.33

注:表中数据为分别测量雌、雄红缘天牛各 10 根触角所得数据的平均值。

The dates in the table are the average of 10 antennals of male and female *Asias halodendri*.

20 ~ 25 mm，约为体长的 1.5 倍，t 检验结果 $P < 0.01$，故红缘天牛两性成虫触角长度有极显著性差异。触角上布满黑褐色的感觉毛，触角表面有细小的表皮孔（cuticular pores，Cp.）和波浪状的深色花纹（图版Ⅰ：1，6，7）。

红缘天牛的下颚须和下唇须均呈黑色，表皮上有表皮孔和波浪形的深色斑纹，末节端部略发黄褐色，并有一较深的椭圆形凹陷，下颚须较下唇须端部凹陷开阔，雄虫较雌虫端部凹陷开阔，在凹陷边缘及内部生有密集的感受器（图版Ⅱ：1，2，3）。

下颚须 4 节，雄虫全长为 1.26 mm，雌虫全长为 1.28 mm，下唇须 3 节，雄虫全长为 0.97 mm，雌虫全长为 0.92 mm。

2.2 嗅觉感受器的主要类型、超微形态结构及分布特点

红缘天牛的嗅感器共有 6 类 14 种，其中触角上有 2 类 9 种，下唇须和下颚须上共 4 类 5 种。

2.2.1 触角上的嗅感器的特点 红缘天牛触角上的 2 类 9 种嗅感器为毛形感器 1 种，锥形感器 8 种。

（1）毛形感受器（sensilla trichodea，Tr.）

红缘天牛触角上的毛形感器仅 1 种（图版Ⅰ：1，2，3，9），毛发状，斜伸，与触角表面形成一锐角；感器着生处呈浅凹窝，凹窝较宽阔；感器上有纵纹，端部钝圆。雄性感器较雌性长，雄性长为 39.1 ~ 74.0 μm，雌性长 32.3 ~ 60.4 μm，二者长度存在极显著性差异（$P = 0.009 < 0.01$），雌雄性感器基部约等宽，均为 3.1 ~ 5.2 μm。红缘天牛雌、雄成虫的毛形感器均分布在触角各节的刺形感器（sensilla chaetica，Ch.）间，柄节和梗节数量较少，鞭节的背、侧面和每鞭节端部分布较多，雌虫数量多于雄虫。

（2）锥形感受器（sensilla basiconca，B.）

红缘天牛触角上的锥形感受器有 8 种。感器可区分为锥体和底座 2 部分（图版Ⅰ：6），锥体着生在凸起的圆台形底座上，感受器较其他感器低矮、短小，锥体呈现圆锥状，直立于触角表面或指向触角端部生长。感器壁较薄，有孔道与外界相通。该感器在雌、雄成虫触角鞭节各亚节上均有分布；第 1 ~ 3 鞭节上数量少且分布较零散，在第 4 ~ 9 鞭节的腹面数量和密度明显增加，在刺形感器间形成较明显的锥形感器丛（图版Ⅰ：3）。红缘天牛的锥形感器又分以下 8 个亚型：

Ⅰ型：（B.1）（图版Ⅰ：4，5）。感受器锥体极短小，端部为一高 1 ~ 2 μm 的小突起，着生在低矮的圆台形底座上。感器数量少，雌、雄成虫触角 4 ~ 9 鞭节腹面锥形感器丛中零星分布，雌虫较雄虫数量多。

Ⅱ型：（B.2）（图版Ⅰ：3，6，7，10，12）。锥体短小粗壮，顶部钝圆，雌性感器锥体基部直径 2.2 ~ 4.0 μm，高 8.6 ~ 13.0 μm，底座直径约为 4.7 ~ 7.6 μm，雄性感器锥体基部直径 2.3 ~ 3.2 μm，高 4.2 ~ 10.2 μm，底座直径约为 4.3 ~ 7.9 μm，雌性锥体高度显著大于雄性，二者有极显著差异（$P = 0.004 < 0.01$）。该感器数量较多，分布较广，在鞭节的 2 ~ 9 亚节均有分布，2 ~ 5 亚节数量较少，分布于刺形感器之间，在 6 ~ 9 亚节表面感器数量明显增多且向端部逐节增加，在触角腹面浅窝中形成感器丛，根据样方内统计，雌虫触角上数量较雄虫多。

Ⅲ型：（B.3）（图版Ⅰ：7，9）。感受器的锥体呈现尖细锥状，端部急尖，直立于触角表面或者形成一定弧度指向触角端部，锥体明显长于 II 型感器长。分布于雌、雄成虫触角鞭节 2 ~ 9 亚节背、侧面，数量较少，雌虫触角上的数量较雄虫多。

Ⅳ型：（B.4）（图版Ⅰ：9）。锥体呈弯曲细毛状，端部尖细，指向触角端部；感器底座较突出，直径明显大于锥体基部。此感器在雌虫第 7 ~ 9 鞭节腹面有少量分布，7 鞭节中部有 6 ~ 7 个，第 8 和 9 鞭节上零星分布，2 ~ 5 个不等；雄虫触角上未见有分布。

Ⅴ型：（B.5）（图版Ⅰ：10）。该类型感器与 II 型感器较相似，但锥体高大粗壮，端部钝圆，分布于两性成虫触角鞭节各亚节上，以 5 ~ 9 鞭节居多，且背、侧面数量明显多于腹面；雌虫触角上数量也明显多于雄虫。

Ⅵ型：（B.6）（图版Ⅰ：5，8）。该感器大小与 II 型感器相似，但锥体成扁锥形，基部显著折曲成一角度，该感器在雄虫 4 ~ 9 鞭节的锥形感器丛中与 II 型感器相间分布，数量较 II 型感器少；雌虫触角上未见分布。

Ⅶ型：（B.7）（图版Ⅰ：10，11）。感器锥体短小，基部略细缩，端部钝圆，锥体基部直径 2.2 μm，中部最宽处直径为 5.3 μm，锥体高为 3.6

μm,直立于直径为 4.4 μm 的圆台形底座上,底座位于一很深的凹窝中。仅见于雌虫触角鞭节的第 6 亚节背面。

Ⅷ型:(B.8)(图版Ⅰ:12)。锥体短小,顶端分为长短不一的二叉形;锥体基部直径 2.5 μm,基部至分叉处高 3.8 μm,长叉高 3 μm,短叉高 1.6 μm。底座低矮,凸出不显著,直径 3.8 μm。仅见于雌虫触角第 6 鞭节背面。

2.2.2　下颚须和下唇须上的嗅感器特点　红缘天牛下下颚须和唇须上(图版Ⅱ:1~3,8)的 4 类 5 种嗅感器,分别为栓锥形感器 2 种,板形感器、钟形感器和边缘凹槽形感器各 1 种。

(1)栓锥形感器(sensilla styloconica,St.)

Ⅰ型:(St.1)(图版Ⅱ:4,5)。锥体尖端有一小突起,锥体基部宽 2.1~3.1 μm,高 3.6~5.3 μm,感器底座不明显。该感器分布于下颚须和下唇须末节端部凹陷由外向内的 1~2 层,数量 60~80 个,下颚须上的数量较下唇须上多,雄虫数量多于雌虫。

Ⅱ型:(St.2)(图版Ⅱ:4,5)。锥体短柱状,粗细均匀,其顶端中心凹陷成一小窝,锥体基部宽 3.1~3.9 μm,高 2.5~5.2 μm,感器底座圆环状,直径 5.1~7.2 μm。该感器在雌、雄成虫下颚须和下唇须顶端凹陷区的中央集中分布,下颚须上的数量多于下唇须,数量 50~60 个不等,雄虫数量多于雌虫。

(2)板形感器(sensilla placodea,P.)

板形感器是红缘天牛下颚须和下唇须上最容易识别的感受器之一(图版Ⅱ:1,7)。感器呈长椭圆形或纵长条状,比较平直,中间有一较深的缝隙。该感器宽 0.8~2.3 μm,长约 17.7~39.1 μm,雌雄间无显著性差异。主要分布在雌、雄成虫下颚须和下唇须末节腹面的中间靠外侧,感器数量 6~12 个不等,背面无此感器,下颚须上较下唇须上数量较多,雌虫较雄虫数量多。

(3)钟形感器(sensilla campaniformia,Ca.)

感器形似一倒扣的钟罩,着生于直径为 1~2 μm 的圆形凹穴中,呈现为 1~2 μm 长的小突起(图版Ⅱ:4,8)。钟形感器数量较少,零星分布在红缘天牛下颚须和下唇须的末节端部一周,约 6~8 个左右,背面居多,下颚须分布较多,雄性多于雌性。

(4)边缘凹槽形感器(sensilla eage groove, Eg.)

感器短小,在感器端部中央有一凹陷,内生有一个乳头状的小凸(图版Ⅱ:5,6,9),感器基部宽约 3.7~4.7 μm,雌、雄成虫该感器锥体高度有显著性差异,雄虫高约 1.8~2.1 μm,呈一小突起状,而雌虫高度约为 4.3~5.5 μm,为短柱状。该感器数量较少,约 5~7 个,零星分布在雌、雄红缘天牛下颚须和下唇须末节端部凹陷的边缘,雄性数量较多。

3　讨论

不同学者对于感受器的分类和命名所采用的方法有所不同,因此对于一些形态相似或者相同的感受器不同作者在不同昆虫中命名有一定差异。例如,在雌性红缘天牛触角上发现的Ⅶ型、Ⅷ型锥形感器结构较为特殊,该感器与青杨脊虎天牛 *Xylotrechus rusticus* L.(程红,2006)触角上的粗锥形感器和微叉锥形感器结构相似;Ⅰ型栓锥形感器与七星瓢虫 *Coccinella septempunctata*(严福顺等,1987)下颚须端部的 A 型感受器、黄斑星天牛 *Anoplophora nobilis* Ganglbauer(李新岗和张克斌,1991)下唇须端部的 A 型栓锥形感受器、桑天牛 *Apriona germari*(Hope)(诸葛飘飘等,2009)下颚须末节顶端的Ⅰ型栓锥形感器形感器结构相似;Ⅱ型栓锥形感器与七星瓢虫(严福顺等,1987)下颚须端部的 B 型感受器、黄斑星天牛(李新岗和张克斌,1991)下唇须端部的 B 型栓锥形感受器、甘薯小象虫成虫 *Cylas formicarius* Fabr(陈建新等,1992)下颚须端部栓状感觉器、狭胸天牛 *Philus antennatus*(Gyll.)(尹新明,1994)下颚须顶端的 B 型栓锥形感器及桑天牛(诸葛飘飘等,2009)下颚须末节顶端的Ⅲ型末梢锥形感器相似;甘薯小象虫成虫(陈建新等,1992)和双条杉天牛 *Semanotus bifasciatus*(Motschulsky)(孙月琴,2008)下颚须上的板形感器与红缘天牛下颚须和下唇须上的板型感器分类和命名相同,但该感器在桑天牛(诸葛飘飘等,2009)下唇须上被称为缝隙感受器。本文对红缘天牛头部嗅感器的分类命名主要是根据 Schneider(1964)在 1964 年提出的分类命名系统为依据进行命名的。

昆虫触角及其感器在大小、形态、结构等方面均存在性二型现象,一般来讲,雌虫利用寄主植物挥发性成分来完成远距离寄主定向,雄虫通过性

信息素来完成识别与交配(辛星等,2010),但是在天牛科昆虫中有些是雄性释放远距离性信息素,而雌虫则释放近距离性信息素或者接触性信息素(Iwabuchi,1982;Fettkother *et al.*,1995);这种生理功能上的不同,可能是触角及其上感受器在两性之间形态和分布的差异起到了关键作用。例如红缘天牛雌雄成虫触角长度有极显著性差异,雄性鞭节各节长度均长于雌性;雌雄触角上的嗅感器种类有所不同,Ⅲ型、Ⅶ型和Ⅷ型锥形感器仅见于雌性触角,Ⅵ型锥形感器仅见于雄性触角;雄性的毛形感器长度较雌性长,但Ⅱ型锥形感器锥体高度显著小于雌性;根据样方内统计,雌性触角除Ⅶ型、Ⅷ型锥形感器在背面外,其余感器均分布在触角腹面及外侧面,雄性触角上毛形感器分布较均匀,Ⅱ型锥形感器在腹面较为集中,其余的锥形感器在背面分布较多。从总数上计算,雌性触角上的嗅感器数量和种类多于雄性,这可能对寻找配偶的过程中识别雄性信息素发挥主要作用。雌雄下颚须和下唇须上的嗅感器种类相似,雌性的边缘凹槽形感器显著高于雄性,雄虫端部凹陷较雌虫开阔,其内感器数量较雌虫多;板型感器仅分布于雌性下颚须和下唇须腹面,雄性背面的钟形感器数量较多。与触角上不同的是,在下颚须和下唇须上的感器总数雄性较多,推测这种差别可能会对雌雄红缘天牛在化学通讯过程中感受不同信息物质产生重要影响。

研究证明,一种感器可能有多种功能。马瑞燕和杜家纬(2000)认为毛型感器是感受性信息素的主要器官;Saad 和 Scott(1981)认为棉铃虫 *Helicoverpa armigera*(Hübner)以及谷实夜蛾 *Helicoverpa zea* Boddie 雌虫触角上的毛型感器可用来感受同种昆虫的性信息素,并以此判定雌虫同伴的位置;Ochieng 等(1998)发现沙漠蝗虫 *Schistocerca gregaria* Forsskål 的毛型感器主要用于感受聚集信息素;吴宏才(1993)研究棉铃虫雄性触角上毛形感器性信息素组分的反应结果表明,毛形感器的反应强度随刺激剂量加大而增强;杜芝兰(1989)认为工蜂的毛形感器具机械和味觉功能,杜永均等(1995)则发现大豆蚜 *Aphis glycines* 的毛形感器在蚜虫寄主选择中起味觉作用,用来感知植物表面化学作用,是感觉萜烯类化合物的嗅觉受体。Schneider(1964)认为,锥形感器其主要功能是感受重力,在遇到机械刺激时,能够缓冲重力作用,从而控制触角的下降速度;那杰等(2008)同样认为锥形感器可能具有机械感受功能。但已有超微结构研究显示,锥形感器富有小孔,超薄切片证明其壁很薄,内有丰富的神经细胞,对植物气味刺激有感受作用,因此被认定为是一种嗅觉感器(马瑞燕和杜家纬,2000)。红缘天牛的锥形感器种类较多,其中又以Ⅱ型锥形感器数量和分布居多,因此推断其是红缘天牛性信息素的主要感器,但对于每一种类型的锥形感器所行使的具体功能无法进一步确定,还需要其他手段辅助进行验证。板形感器具嗅孔且壁薄,因而断定其是嗅觉感受器(杜芝兰,1989;宁眺等,2004;那杰,2008);也有报道称该种感器具有探测红外辐射的能力(余海忠,2007;那杰,2008)。下颚须、下唇须是昆虫口器的组成部分,宁眺等(2004)认为松墨天牛下颚须和下唇须上的钟形感受器对二氧化碳和温湿度敏感;孙月琴(2008)研究双条杉天牛,认为其栓锥形感受器具有感受湿度、味觉和嗅觉的功能;超微结构研究表明,栓锥形感器内部有丰富的神经细胞,且是触角内容物质的延伸,能够感受味觉和嗅觉(马瑞燕和杜家纬,2000)。红缘天牛的钟形感器、边缘凹槽形感器以及Ⅰ型、Ⅱ型栓锥形感受器都分布在下颚须、下唇须的端部,因此推测这几种感器可能同时具有感受温湿度、味觉和嗅觉的多重功能。

参考文献(References)

程红,2006. 青杨脊虎天牛触角感器类型及其对植物挥发物的反应. 硕士学位论文. 哈尔滨:东北林业大学. 20—21.

陈建新,李红莲,陈宏,1992. 甘薯小象虫成虫触角和下颚须上感觉器的扫描电镜观察. 北京农业大学学报,18(1):99—102.

陈孝达,胡忠朗,杨鹏辉,王兆富,杨靖北,姬翔洲,刘志平,1983. 红缘天牛生物学习性观察及试用肿腿蜂防治初报. 陕西林业科技,(2):58—62.

杜永均,严福顺,唐觉,1995. 大豆蚜触角嗅觉感器结构及其功能. 昆虫学报,38(1):1—6.

杜芝兰,1989. 中华蜜蜂工蜂触角感受器的扫描电镜观察. 昆虫学报,32(2):166—169.

范仁俊,董晋明,曹满,刘英,郭新安,1993. 沙棘红缘天牛综合防治. 山西农业科学,21(1):58—61.

范仁俊,董晋明,曹满,刘英,1994. 沙棘园红缘天牛的发生特点和防治技术. 沙棘,7(1):24—27.

Fettkother R, Dettner K, Schroder F, Meyer H, Francke W, Noldt U, 1995. The male pheromone of the old house borer *Hylotrupes bajulus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae): Identification and response. *Experientia*, 51: 270—277.

郭百平,王子科,1998. 沙棘红缘天牛的为害与防治. 山西水土保持科技,(4):34—35.

Iwabuchi K, 1982. Mating behavior of *Xylotrechus pyrrhoderus* Bates (Coleoptera: Cerambycidae) I. Behavioral sequences and existence of the male sex pheromone. *Appl. Entomol. Zool.*, 17(4):494—500.

李升,刘强,2009. 二种天牛对濒危植物四合木的危害. 昆虫知识,46(3):407—410.

李新岗,张克斌,1991. 黄斑星天牛成虫下银须和下唇须的化学感受器. 昆虫知识,28(6):357—358.

李占文,孙惠芳,王丽先,王东菊,杨红娟,2008. 宁夏灵武长枣区红缘天牛的危害及其寄生天敌调查研究. 黑龙江农业科学,(4):53—54.

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

那杰,于维熙,李玉萍,董鑫,焦娇,2008. 昆虫触角感器的种类及其生理生态学意义. 沈阳师范大学学报(自然科学版),26(2):213—216.

宁眺,刘拥军,孙江华,2004. 松墨天牛成虫头部感受器超微结构的观察. 昆虫知识,41(6):566—571.

Ochieng SA, Hallberg E, Hasson BS, 1998. Fine structure and distribution of antennal sensills of the desert locust, *Schistocerca gregaria* (Orthoptera: Acrididae). *Cell Tissue Res.*, 291: 525—536.

Saad A D, Scott D R, 1981. Repellency of pheromones released by females of *Heliothis armigera* and *H. zea* to females of both species. *Entomol. Exp.*, 30: 123—127.

Schneider D, 1964. Insect antennae. *Ann. Rev. Ent.*, 9: 103—122.

孙逢海,房爱成,孙宪华,杨士一,李东军,阎大成,1994. 红缘天牛生物学特性观察. 山东林业科技,(3):40—41.

孙月琴,2008,双条杉天牛成虫的感受器及对侧柏挥发物的行为反应. 博士学位论文. 北京:北京林业大学. 1—36.

唐蒙昌,王国栋,刘永平,1993. 红缘天牛的初步研究. 内蒙古林业科技,(2):21—25.

吴才宏,1993. 棉铃虫雄性触角的毛形感器对其性信息素组分及类似物的反应. 昆虫学报,36(4):385—388.

王大洲,王金华,2002. 红缘天牛的发生与防治技术. 河北林业科技,(4):30.

王建伟,苓建强,骆有庆,包会嘎,梁军,2009. 不同植被条件下两种天牛对四合木的危害. 中国森林病虫,28(6):9—11.

王直诚,2003. 东北天牛志. 吉林:吉林科学出版社. 169.

辛星,马子龙,覃伟权,2010. 椰心叶甲啮小蜂触角感觉器的扫描电镜观察. 昆虫知识,47(5):933—937.

严福顺,钦俊德,项秀芬,1987. 七星瓢虫成虫下颚须上的化学感受器. 昆虫学报,30(2):146—151.

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

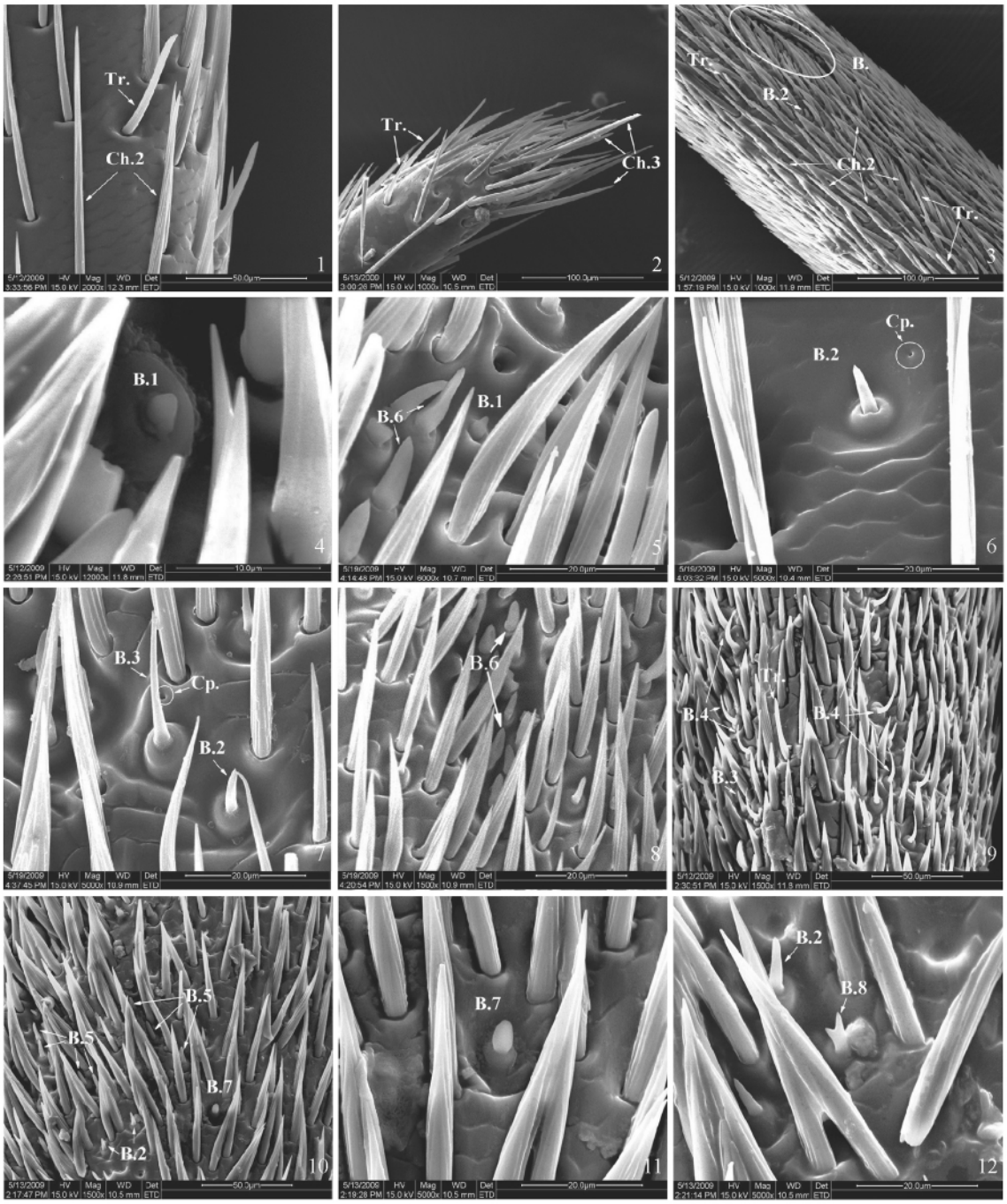
尹新明,1994. 狭胸天牛成虫下颚须和下唇须化感器研究. 西南农业大学学报,16(3):270—272.

诸葛飘飘,葛红梅,王满囷,吴胜兵,罗森林,张国安,2009. 桑天牛头部附器感器的扫描电镜观察. 昆虫知识,46(2):238—243.

宗世祥,骆有庆,许志春,姚国龙,王玉友,2006. 沙棘主要蛀干害虫危害特性及种群动态变化. 中国森林病虫,25(1):7—10.

图版 Ⅰ　两性红缘天牛头部主要嗅觉感受器的类型

Plate Ⅰ　Types of olfaction sensilla of head in male and female *Asias halodendri*



1. 雌虫第 3 鞭节腹面;2. 雄虫第 9 鞭节侧面;3. 雌虫第 9 鞭节侧面;4. 雌虫第 7 鞭节侧面;5. 雄虫第 4 鞭节腹面;6. 雄虫第 1 鞭节腹面;7. 雄虫的 9 鞭节腹面;8. 雄虫第 5 鞭节腹面;9. 雌虫第 7 鞭节侧面;10、11、12. 雌虫第 6 鞭节背面

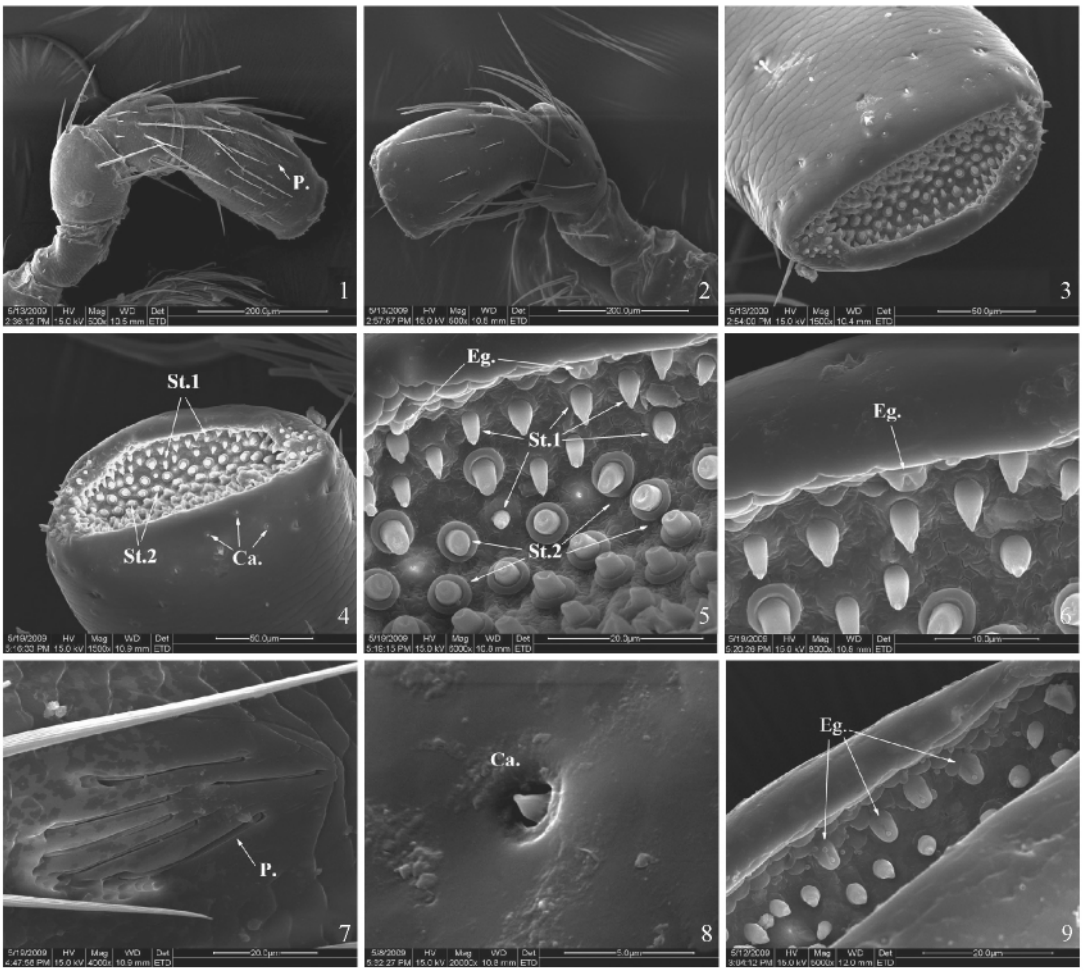
Ch. 2:刺形感器Ⅱ;Ch. 3:刺形感器Ⅲ;Tr.:毛形感器;B. 1:锥形感器Ⅰ;B. 2:锥形感器Ⅱ;B. 3:锥形感器Ⅲ;B. 4:锥形感器Ⅳ;B. 5:锥形感器Ⅴ;B. 6:锥形感器Ⅵ;B. 7:锥形感器Ⅶ;B. 8:锥形感器Ⅷ。

1. The ventral of the third flagellum in female; 2. The lateral of the ninth flagellum in male; 3. The lateral of the ninth flagellum in female; 4. The lateral of the seventh flagellum in female; 5. The ventral of the fourth flagellum in male; 6. The ventral of the first flagellum in male; 7. The ventral of the ninth flagellum in male; 8. The ventral of the fifth flagellum in male; 9 The lateral of the seventh flagellum in female; 10,11,12. The dorsal of the sixth flagellum in female.

Ch. 2: Sensilla chaetica Ⅱ; Ch. 3: Sensilla chaetica Ⅲ; Tr.: Sensilla trichodea; B. 1: Sensilla basiconca Ⅰ; B. 2: Sensilla basiconca Ⅱ; B. 3: Sensilla basiconca Ⅲ; B. 4: Sensilla basiconca Ⅳ; B. 5: Sensilla basiconca Ⅴ; B. 6: Sensilla basiconca Ⅵ; B. 7: Sensilla basiconca Ⅶ; B. 8: Sensilla basiconca Ⅷ.

图版Ⅱ　红缘天牛头部主要嗅觉感受器的超微结构

Plate Ⅱ　Types of olfaction sensilla of haed in male and female *Asias halodendri*



1. 雌性下颚须腹面;2. 雄性下唇须背面;3. 雄性下颚须端部;4、5、6. 雄性下颚顶端凹陷;7. 雌性下颚须腹面;8. 雄性下颚须腹面末节端部;9. 雌性下唇须端部。

P.:板形感器;Ca.:钟形感器;Eg.:边缘凹槽形感器;St. 1:Ⅰ型栓锥形感器;St. 2:Ⅱ型栓锥形感器。

1. The ventral of maxillary palpus in female; 2. The dorsal of labial palpus in male; 3. The telos of maxillary palpus in male; 4,5, 6. The telos hollow of maxillary palpus in male; 7. The ventral of maxillary palpus in female; 8. The ventral telos of maxillary palpus in male; 9. The telos of labial palpus in female.

P.: Sensilla placodea; Ca.: Sensilla campaniformia; Eg.: Sensilla eage groove; St. 1: Sensilla styloconica Ⅰ; St. 2: Sensilla styloconica Ⅱ.