

# 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)\*

李秀敏 任国栋\*\* 王新谱

(河北大学生命科学学院 保定 071002)

**摘要** 针对斑芫菁族分类系统中伪斑芫菁属 *Pseudabris* 分类关系的不确定,选择该族 6 个代表种,对其触角感器的形态特征、类型变化和分布位置做了记述、分析比较,提供了扫描电镜照片;基于 14 个触角特征的分析数据,构建了该族 3 个属和 6 个种可能的系统发育树。属间关系:沟芫菁属 *Hycleus* + (伪斑芫菁 *Pseudabris* + 苹斑芫菁 *Mylabris*);种间关系:(眼斑沟芫菁 *H. cichorii* + 大斑沟芫菁指名亚种 *H. phaleratus*) + ((长角伪斑芫菁 *P. hingstoni* + 长腹伪斑芫菁 *P. longiventris*) + (苹斑芫菁 *M. calida* + 丽斑芫菁 *M. speciosa*))。

**关键词** 鞘翅目, 芫菁科, 斑芫菁族, 触角感器, 系统发育

## Analysis of the taxonomic and phylogenetic relationships of Mylabrini species (Coleoptera, Meloidae) based on antennal sensilla morphology

LI Xiu-Min REN Guo-Dong\*\* WANG Xin-Pu

(College of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China)

**Abstract** In order to clarify the obscure taxonomic relationships within the genus *Pseudabris* of the family Mylabrini, antennal sensilla of six representative species were photographed under a scanning electron microscope to document, analyze and compare their morphological traits, variation and distribution. A possible phylogenetic tree based on 14 antenatal characters revealed the following taxonomy: (*Hycleus cichorii* + *H. phaleratus*) + ((*P. hingstoni* + *P. longiventris*)) + (*Mylabris calida* + *M. speciosa*)).

**Key words** Coleoptera, Meloidae, Mylabrini, antennal sensilla, phylogeny

触角在分类学上具有重要价值。利用触角的感觉器类型对昆虫进行分类地位探讨和进化关系分析,成为近年的新趋势(李竹和陈力,2010)。斑芫菁族 Mylabrini 隶属于鞘翅目 Coleoptera 拟步甲总科 Tenebrionoidea 芫菁科 Meloidae,全球已知 650 余种,广布于古北区和东洋区(Bologna and Pinto,2002)。该族昆虫我国已知 3 属 66 种,即沟芫菁属 *Hycleus*、斑芫菁属 *Mylabris* 和伪斑芫菁属 *Pseudabris*。以上 3 属的属级分类地位已经确定,且前 2 个属与其他属的系统发育关系得到了认定,但我国的特有属伪斑芫菁属 *Pseudabris* 因缺乏

形态和分子生物学研究数据,其在族内与其他属的系统关系还不明确(Bologna *et al.*, 2005)。为此,作者选取斑芫菁族 3 属 6 个代表种,通过对其触角感器组成类型及其分布数据的研究,对其属级阶元间的相互关系和分类地位做出初步判定。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究材料

本研究选用的 3 属 6 个代表种的雄标本均来自河北大学博物馆昆虫标本室,6 种斑芫菁的标本信息见表 1。

\* 资助项目:国家自然科学基金项目(31071956);河北省自然科学基金项目(C2008000607、C2011201086);河北省无脊椎系统学与应用重点实验室资助(HBIS09001)。

\*\* 通讯作者, E-mail: gdren@hbu.edu.cn

收稿日期:2011-11-21,接受日期:2012-02-12

表 1 研究标本信息一览表  
Table 1 Specimens used in this study

| 属名<br>Genera name                          | 种名<br>Species name                             | 采集信息<br>Collecting information |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|
| 沟芫菁属<br><i>Hycleus</i> Latreille, 1817     | 眼斑沟芫菁<br><i>H. cichorii</i> (Linnaeus, 1758)   | 云南兰坪啦井, 2008. VIII. 1,<br>徐吉山采 |
|                                            | 大斑沟芫菁<br><i>H. phaleratus</i> (Pallas, 1781)   | 云南维西塔城, 2008. VIII. 7,<br>徐吉山采 |
|                                            | 长腹伪斑芫菁<br><i>P. longiventris</i> (Blair, 1927) | 西藏日喀则, 2009. VIII. 1,<br>任国栋采  |
|                                            | 长角伪斑芫菁<br><i>P. hingstoni</i> (Blair, 1927)    | 西藏日喀则, 2009. VIII. 1,<br>任国栋采  |
| 伪斑芫菁属<br><i>Pseudabris</i> Fairmaire, 1894 | 苹斑芫菁<br><i>M. calida</i> (Pallas, 1782)        | 河北小五台山,<br>2009. VI. 19, 王新谱采  |
| 斑芫菁属<br><i>Mylabris</i> Fabricius, 1775    | 丽斑芫菁<br><i>M. speciosa</i> (Pallas, 1781)      | 河北小五台山,<br>2009. VI. 23, 王新谱采  |

1.2 研究方法

1.2.1 样品处理及观察 将标本经湿热处理后取下,用超声波清洗仪处理 5 ~ 10 min,然后用 50% ~ 100% 的乙醇溶液逐级脱水。将处理后的触角样品置于日本基恩氏公司 VHX-100 型超景深三维数码显微镜下观察并拍照;之后再用导电胶带固定于样品台上在干燥锅中干燥 5 ~ 7 d,之后进行离子溅射处理,将镀金后的样品放在中科科仪公司 KYKY-2800 和 KYKY-2800B 型扫描电子显微镜下观察并记录。

1.2.2 感器类型鉴定 触角感器类型采用 Schneider(1964)和 Zacharuk(1980,1985,1991)的命名系统。

1.2.3 系统发育分析 每种选取 14 个感器特征组成特征值矩阵,并用 Hennig 86(1.5 版)软件推测它们之间的系统发育关系。

2 结果与分析

2.1 特征记述

成虫触角 11 节,棒状,两性差异不明显;梗节短念珠状,鞭节各节向端部渐变粗,末节不对称卵形。柄节长于(沟芫菁属的眼斑沟芫菁和大斑沟芫菁指名亚种))或短于第 1 节(伪斑芫菁属的长角伪斑芫菁、长腹伪斑芫菁和斑芫菁属的苹斑芫菁与丽斑芫菁)。沟芫菁属的第 5 ~ 8 鞭节锯齿状,其宽度均大于长度,而斑芫菁属的这些节宽长近于相等;而伪斑芫菁属的各鞭节略变粗,第 5 ~ 8

鞭节的宽度小于长度(图 1)。

2.2 感器类型

经扫描电镜观察,共由 3 属 6 种斑芫菁获得 7 类 11 种触角感器类型及其亚类型,其感器数量和类型从柄节到鞭节呈逐渐增多趋势。各类感器的形态特征如下:

2.2.1 毛形感器(sensilla trichodea, TS) 该类感器在斑芫菁族 6 个种中分布数量最多,着生于触角表皮的基窝内,直立于触角表面,根据其形状、大小可分为:

(1)毛形感器 I(sensilla trichodea I, TS1):感器表面具有纵纹,基部直径 4.6 ~ 7.1 μm,长 38.0 ~ 60.0 μm,其端部变细、变尖,与触角表面形成 60° ~ 90° 夹角(图 3:H, K, R, Z)。

(2)毛形感器 II(sensilla trichodea II, TS2):着生方式、形状同毛形感器 I,近乎直立于触角表面,基部直径 1.0 ~ 2.0 μm,长 3.0 ~ 7.0 μm。在鞭节分布较多,与毛形感器 I 交错分布(图 3:A ~ E, G, I, J, L ~ N, V, W, Y)。

(3)毛形感器 III(sensilla trichodea III, TS3):紧贴于触角表皮着生,比毛形感器 I 短细,基部直径 2.3 ~ 3.0 μm,长 16.5 ~ 20.0 μm,分布于丽斑芫菁触角表面(图 3:O, P)。

2.2.2 刺形感器(chaetica sensilla, CS) 着生方式与毛形感器 I 一样,形如芒刺,顶尖,明显长于其它感器,基部直径 9.3 ~ 17.2 μm,长 190.0 ~ 350.0 μm,分布于触角柄节和梗节周围(图 3:H,

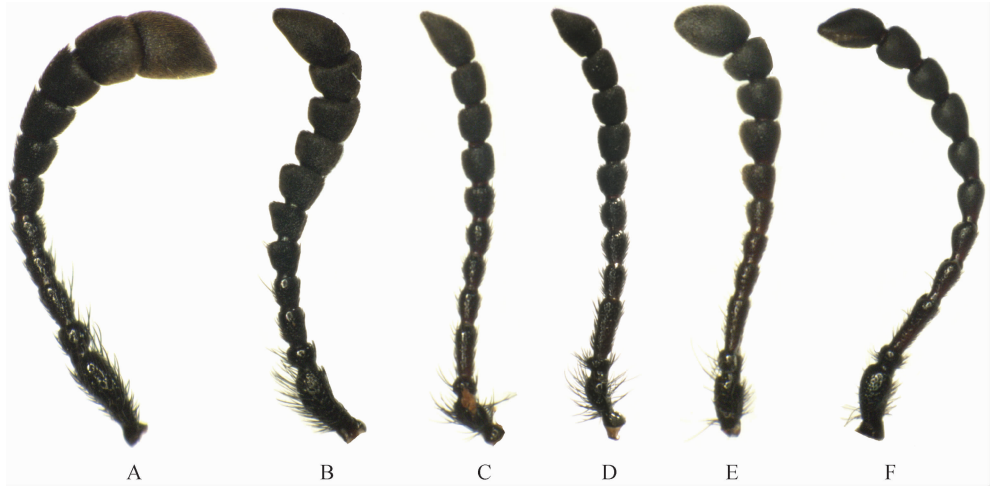


图 1 6 种斑芫菁的触角 (♂)

Fig. 1 Photographs of sensilla of six Mylabrini species (♂)

A. 眼斑沟芫菁 *H. cichorii*; B. 大斑沟芫菁指名亚种 *H. phaleratus*; C. 长腹伪斑芫菁 *P. longiventris*;  
D. 长角伪斑芫菁 *P. hingstoni*; E. 苹斑芫菁 *M. calida*; F. 丽斑芫菁 *M. speciosa*.

K, O, W, X)。

**2.2.3 锥形感器 (sensilla basiconica, BS)** 着生于表皮凹陷形成的白窝内的隆台上, 有下列 3 种亚类型:

(1) 锥形感器 I (sensilla basiconica I, BS1): 着生于触角表面的凹窝内, 端部尖细, 长 2.9 ~ 5.2  $\mu\text{m}$ , 均匀分布于鞭节周围 (图 3: A, C ~ E, G, I, J, T ~ V, X, Y)。

(2) 锥形感器 II (sensilla basiconica II, BS2): 感器稍露出圆台表面, 钝圆形, 主要分布于第 1 鞭节周围, 在以后各节逐渐减少。见于长腹伪斑芫菁、长角伪斑芫菁、苹斑芫菁和丽斑芫菁的第 1 鞭节的基半部, 在第 2 鞭节也有少量分布 (图 3: T, U, Z)。

(3) 锥形感器 III (sensilla basiconica III, BS3): 感器位于触角表面的圆台面上, 锥形, 长 1.5 ~ 2.0  $\mu\text{m}$ , 见于长腹伪斑芫菁和长角伪斑芫菁第 1 鞭节的四周 (图 3: P, T, U, Z)。

**2.2.4 腔锥形感器 (sensilla coeloconica, CoS)**

着生于触角表皮的凹腔内, 圆锥状, 稍突出于腔, 与毛形感器相间分布。见于苹斑芫菁和丽斑芫菁各鞭节的末节 (图 3: M, Q)。

**2.2.5 耳形感器 (sensilla auricillica, AS)** 着生于触角表皮的凹腔内, 其基部卷曲, 露出于触角表面, 耳状, 长约 1.5 ~ 2.0  $\mu\text{m}$ , 见于丽斑芫菁各鞭节 (图 3: O)。

**2.2.6 栓锥形感器 (sensilla styloconica, StS)**

着生于由触角表皮隆起形成的环形凹沟内, 端部钝圆, 长约 1.5 ~ 2.0  $\mu\text{m}$ , 见于苹斑芫菁、丽斑芫菁和长腹伪斑芫菁各触角鞭节, 数量较少 (图 3: N, S)。

**2.2.7 Böhm 氏鬃毛 (Böhm bristles, BB)** 短刺形, 垂生, 无基节窝, 这些特征可与锥形感器相别。该类感器的基部粗, 端部细, 直立, 长 13.0 ~ 32.0  $\mu\text{m}$ , 像成簇的小刺分布于柄节连接头部的节间膜上, 在柄节与梗节的节间处也有分布, 在 6 种斑芫菁中均有分布 (图 3: K, R, W)。

**2.3 感器分布特点**

经观察, 毛形感器、刺形感器、锥形感器、Böhm 氏鬃毛在 3 属 6 种斑芫菁中均有分布; 刺形感器环布于柄节、梗节周围; 锥形感器分布于第 1 鞭节的基部, 其类型有 2 ~ 3 种, 在其余鞭节上与毛形感器交错分布; 耳形感器仅少量存在于丽斑芫菁触角末鞭节, 触角感器在不同斑芫菁中的分布见表 2。

**2.4 基于触角感器的芫菁属级阶元系统发育分析**

以触角为丝状的豆芫菁属 *Epicauta* 的大头豆芫菁为外群, 斑芫菁族的 3 属 6 种为内群, 推测它们可能的系统发育关系。共选取 14 个触角特征用于分析 (表 3), 建立的性状矩阵见表 4。

表 2 6 种斑芫菁触角传感器的分布情况

Table 2 Distribution of antennal sensilla of six Mylabrini species

| 种 名<br>Species name           | TS1 | TS2 | TS3 | CS | BS1 | BS2 | BS3 | AS | BB | CoS | StS |
|-------------------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| 眼斑沟芫菁 <i>H. cichorii</i>      | +   | +   | -   | +  | +   | -   | -   | -  | +  | -   | -   |
| 大斑沟芫菁 <i>H. phaleratus</i>    | +   | +   | -   | +  | +   | -   | -   | -  | +  | -   | -   |
| 长腹伪斑芫菁 <i>P. longiventris</i> | +   | +   | -   | +  | +   | +   | +   | -  | +  | -   | +   |
| 长角伪斑芫菁 <i>P. hingstoni</i>    | +   | +   | -   | +  | +   | +   | +   | -  | +  | -   | -   |
| 苹斑芫菁 <i>M. calida</i>         | +   | +   | -   | +  | +   | +   |     | -  | +  | +   | +   |
| 丽斑芫菁 <i>M. speciosa</i>       | +   | +   | +   | +  | +   | +   | -   | +  | +  | +   | +   |

注: + 表示有分布, - 表示无分布。  
+ indicates distribution, - indicates no distribution.

表 3 6 种斑芫菁的触角特征及其特征状态

Table 3 Category of antennal characteristic of six Mylabrini species and their state coding

| 特征编号<br>Number of characteristics | 特征<br>Characterstics | 特征状态编码<br>Coding of characterstics states | 特征极化方向<br>Polarity |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|--------------------|
| 0                                 | 触角类型                 | 0:丝状;1:稍变化(锯齿状)                           | 0→1                |
| 1                                 | 柄节长度                 | 0:短;1:较长;2:长                              | 0→1→2              |
| 2                                 | 梗节长度                 | 0:短;1:较长;2:长                              | 0→1→2              |
| 3                                 | 触角最长节                | 0:第3节;1:第1节                               | 0→1                |
| 4                                 | 触角第6节相对长宽比           | 0:长大于宽;1:长小于宽                             | 0→1                |
| 5                                 | 毛形感器形态变化             | 0:1种形态;1:2种形态;2:3种形态以上                    | 0→1→2              |
| 6                                 | 触角端部毛形传感器的分布         | 0:稠密;1:较密;2:稀疏                            | 0→1→2              |
| 7                                 | 毛形感器的数量              | 0:最多;1:与其他感器相当                            | 0→1                |
| 8                                 | 锥形感器形态变化             | 0:无变化;1:1种形态;2:2种形态以上                     | 0→1→2              |
| 9                                 | 锥形感器的数量状态            | 0:感器不存在;1:仅少量存在;2:感器大量存在                  | 0→1→2              |
| 10                                | 耳形感器数量状态             | 0:感器不存在;1:仅少量存在;                          | 0→1                |
| 11                                | 鞭节基部至端部感器密度变化        | 0:基本不变;1:稍有增加;2:显著增加                      | 0→1→2              |
| 12                                | 腔锥形感器的数量状态           | 0:感器不存在;1:仅少量存在                           | 0→1                |
| 13                                | 栓锥形感器的数量状态           | 0:感器不存在;1:仅少量存在                           | 0→1                |

将上述数据输入 Hennig 86 (V 1.5) 分析系统,通过 mhennig \* 指令运算分析,经筛选得到 1 个步长 L = 16,相似性系数 Ci = 81,保留系数 Ri = 78 的合意支序树。

图 2 显示的 6 种斑芫菁的亲缘关系为:(眼斑沟芫菁 *H. cichorii* + 大斑沟芫菁 *H. phaleratus*) + ((长角伪斑芫菁 *P. hingstoni* + 长腹伪斑芫菁 *P. longiventris*) + (苹斑芫菁 *M. calida* + 丽斑芫菁 *M. speciosa*)). 该系统树表明中国斑芫菁族 3 属的进化关系为:*Hycleus* + (*Pseudabris* + *Mylabris*)。该支序图所反映的斑芫菁族系统树主要由 2 个分支

构成,即:

*Hycleus* 分支:以特征 0(触角锯齿状)、特征 1(柄节长)、特征 3(触角第 1 节最长)、特征 4(触角第 6 节长大于宽)区别于其它属。

*Pseudabris* + *Mylabris* 分支:其亲缘关系受特征 1(柄节较长)支持。其中斑芫菁属 *Mylabris* 以特征 6(触角端部毛形感器稀疏)、特征 10(存在少量耳形感受器、特征 12(存在少量腔锥形感器)相区别,而特征 1(柄节长)是伪斑芫菁属 *Pseudabris* 获得的自有衍征。

表 4 基于 6 种斑芫菁触角特征的矩阵  
Table 4 Matrix of antennal characteristic of six Mylabrini species

| 种名<br>Species name                   | 特征编号<br>Number of characteristics |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |
|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
|                                      | 0                                 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 大头豆芫菁<br><i>Epicauta megalocepha</i> | 0                                 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 眼斑沟芫菁<br><i>H. cichorii</i>          | 1                                 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 大斑沟芫菁<br><i>H. phaleratus</i>        | 1                                 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 长腹伪斑芫菁<br><i>P. longiventris</i>     | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0  | 0  | 0  | 1  |
| 长角伪斑芫菁<br><i>P. hingstoni</i>        | 0                                 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0  | 0  | 0  | 0  |
| 苹斑芫菁<br><i>M. calida</i>             | 1                                 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1  | 0  | 1  | 1  |
| 丽斑芫菁<br><i>M. speciosa</i>           | 0                                 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1  | 1  | 1  | 1  |

注：“0”代表祖征，“1~2”代表新征状态。触角特征编号同表 3。  
0 stands for ancestral character, while 1–2 stands for new derivant character. Number of characteristics are same with Table 3.

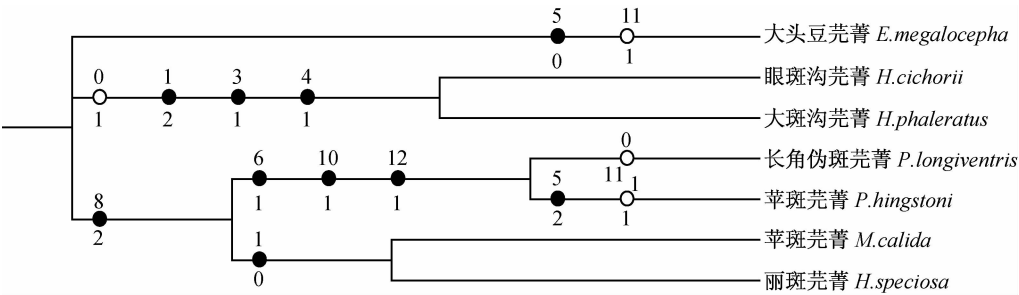


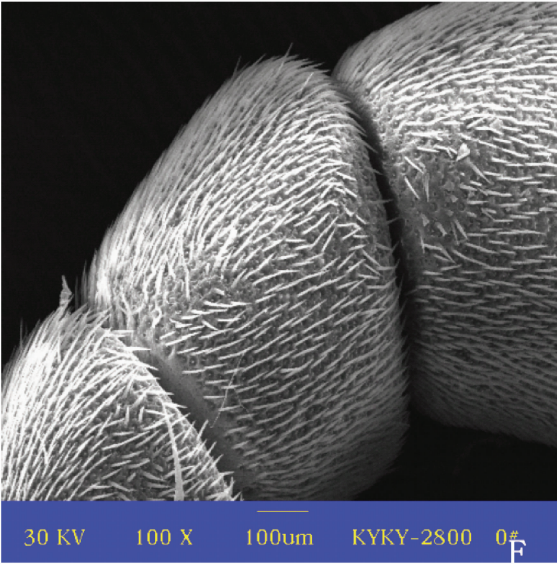
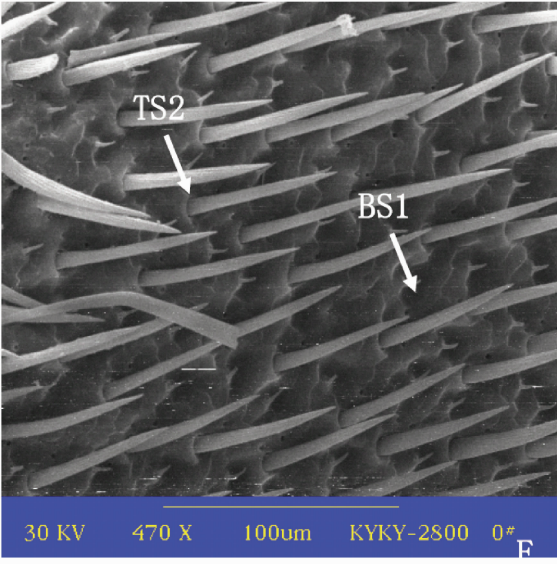
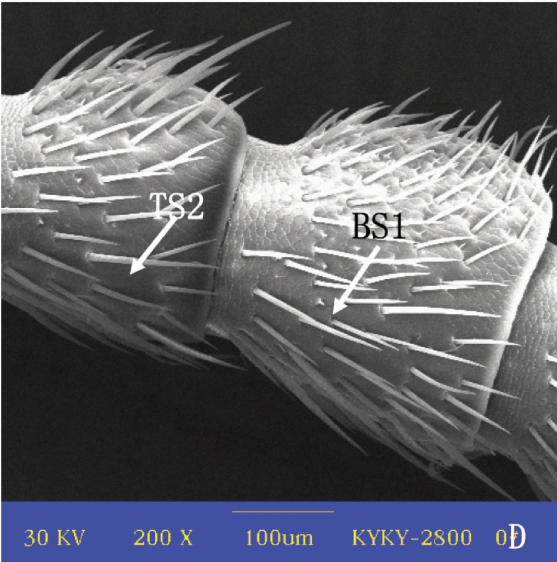
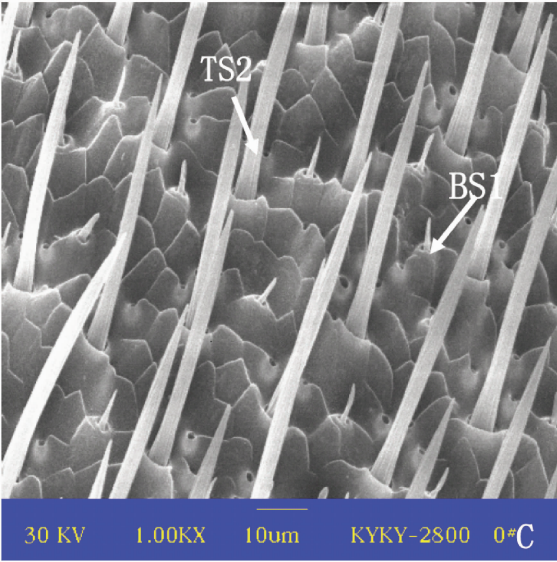
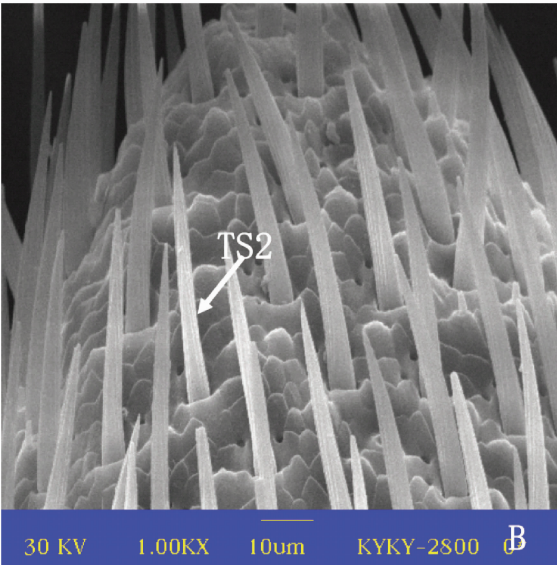
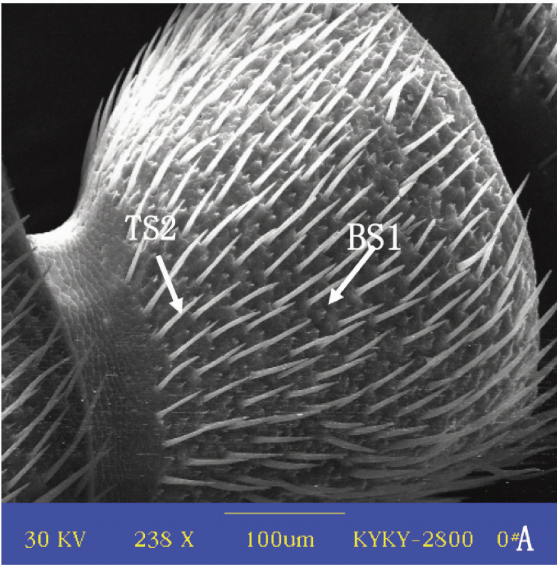
图 2 基于 14 个触角特征构建的 6 种芫菁支序图  
Fig. 2 Cladogram of six Mylabrini species based on 14 antennal characteristics  
图中实心圆圈代表共进裔性状;空心圆圈代表非同源相似性状;各分支上下方数字  
分别代表特征编号与特征状态编码,与表 4 中的数字相对应。

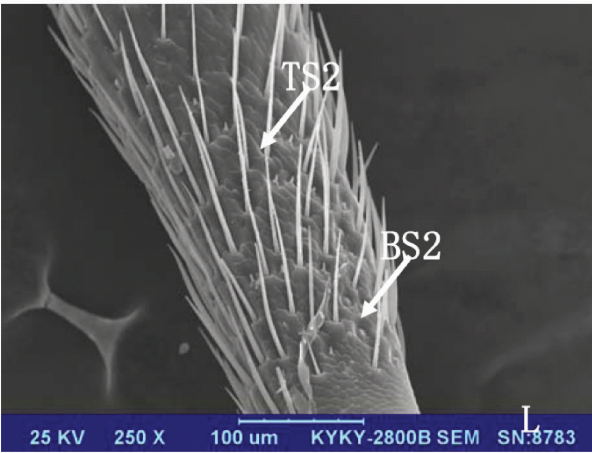
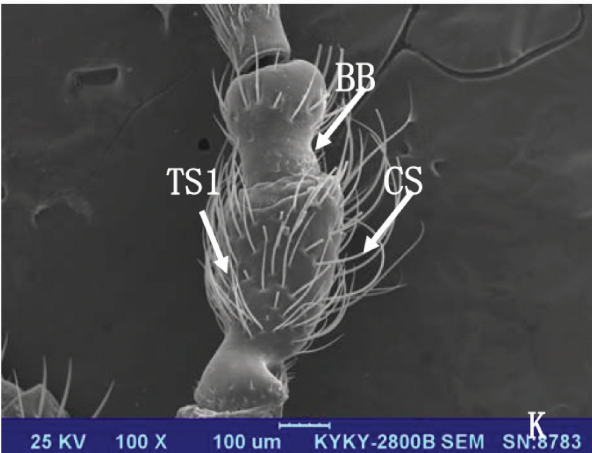
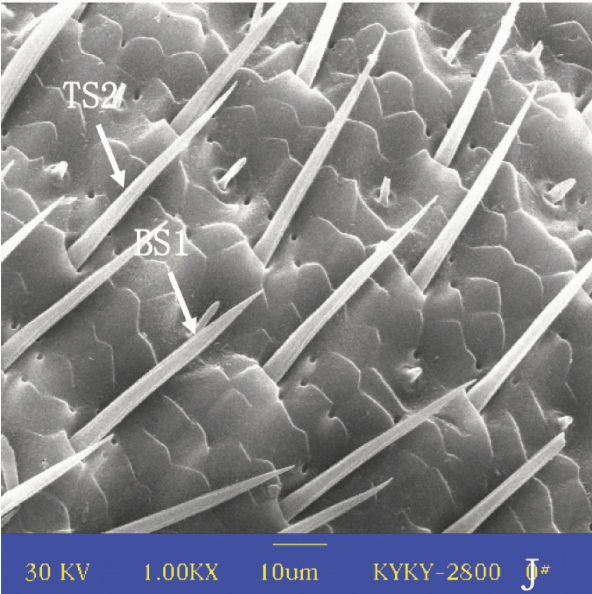
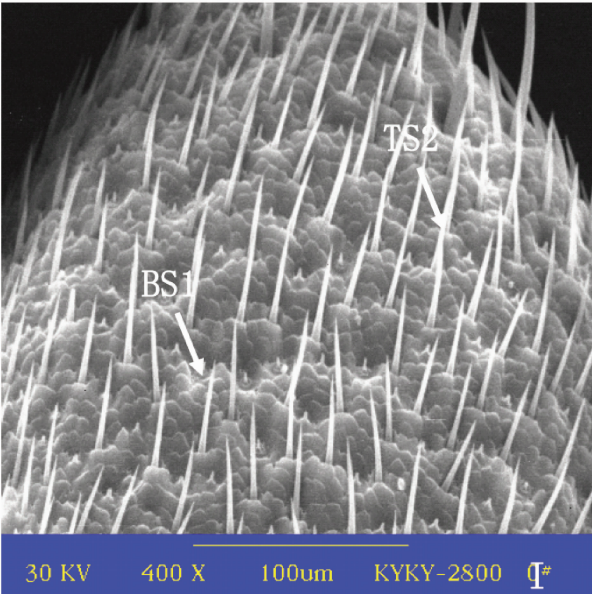
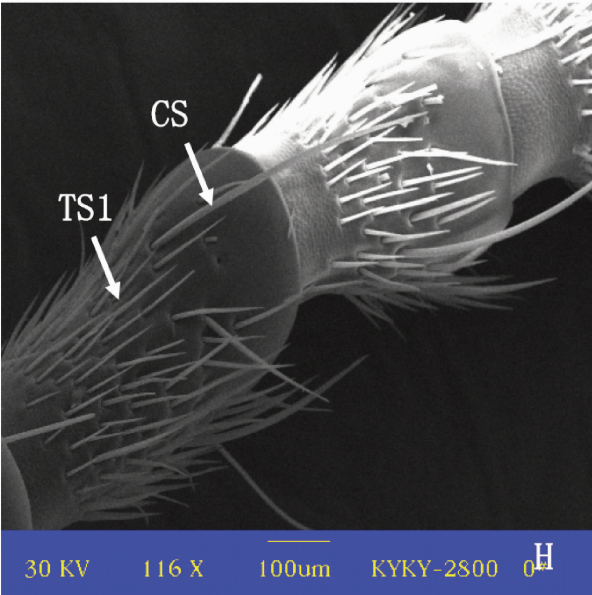
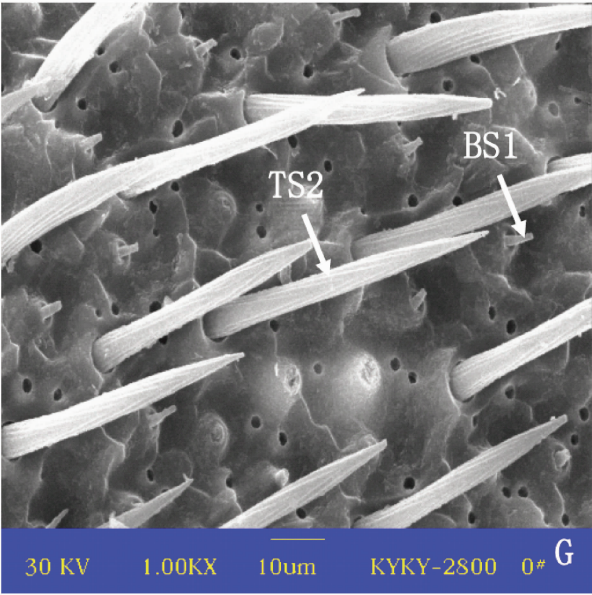
Solid circles indicate allogeneic characters; blank circles indicate homologous characters;  
the numbers above branches denote characters, and those under branches denote coding of character states.

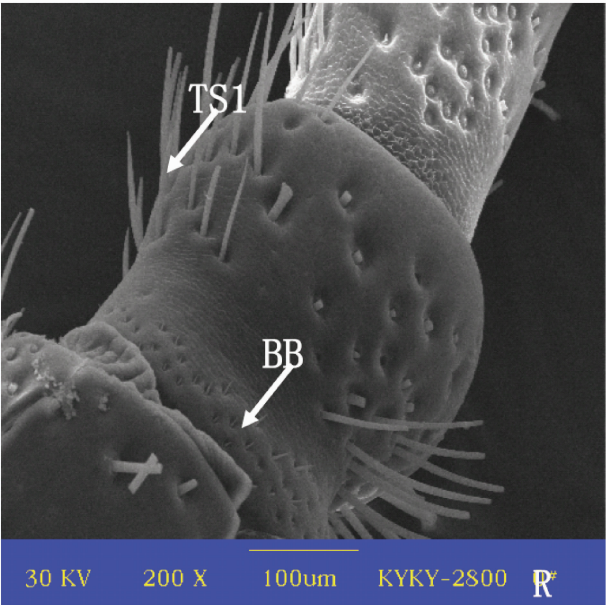
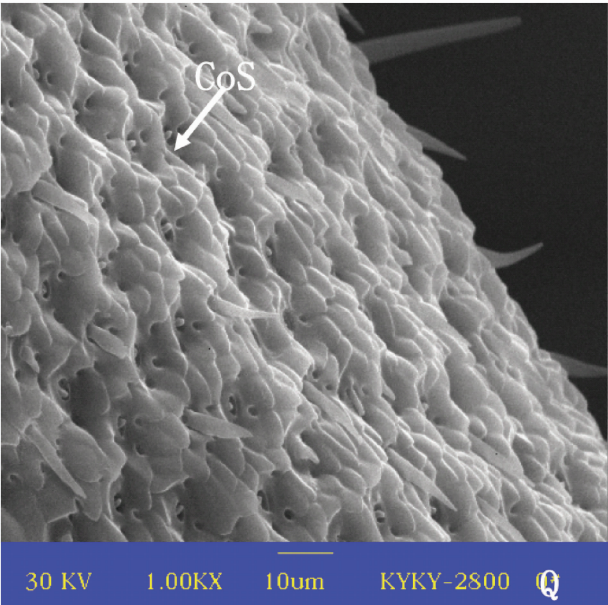
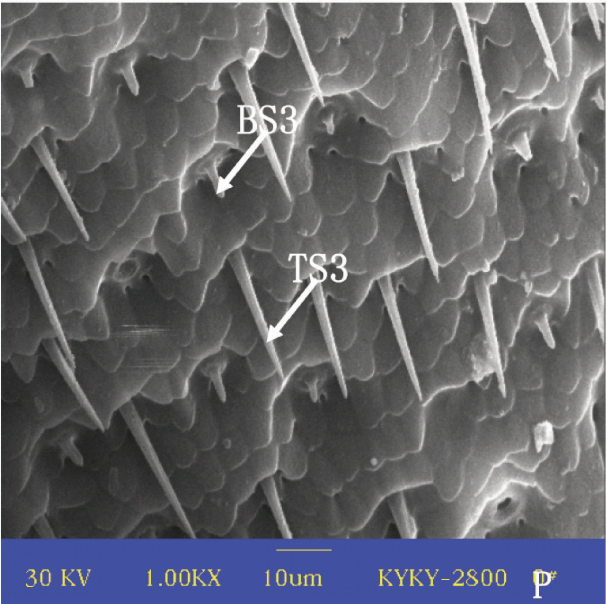
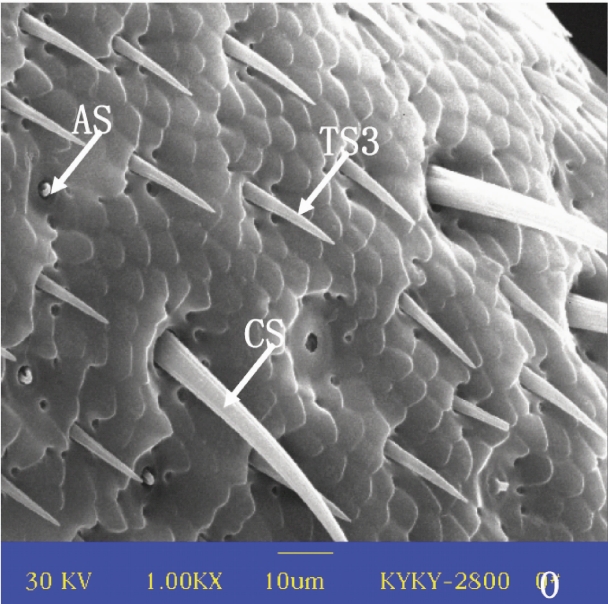
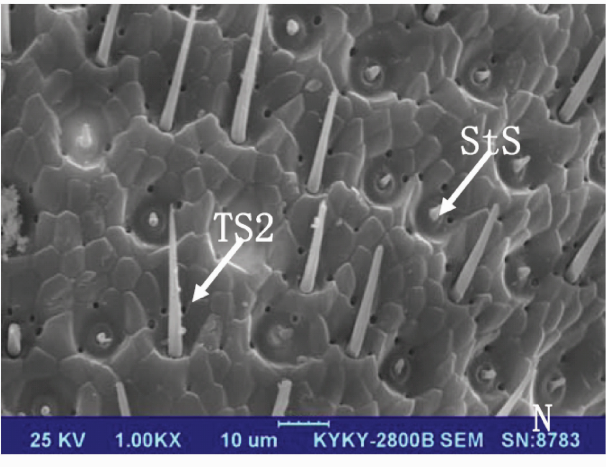
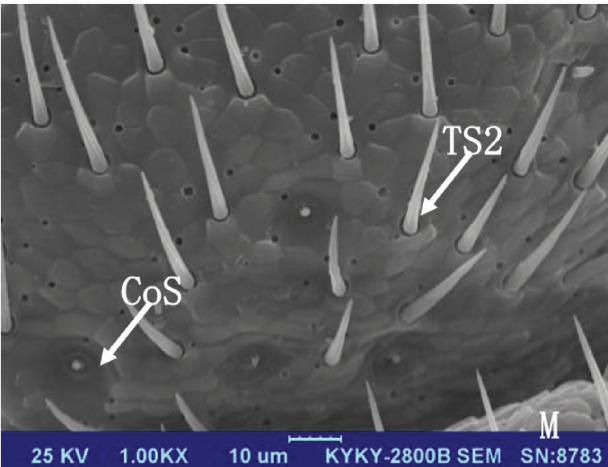
3 讨论

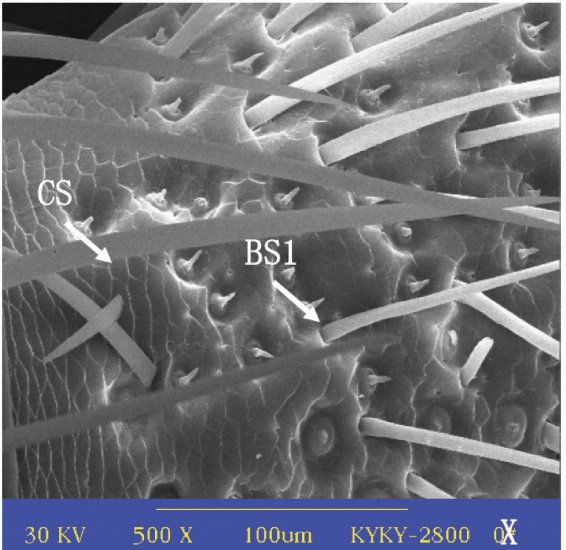
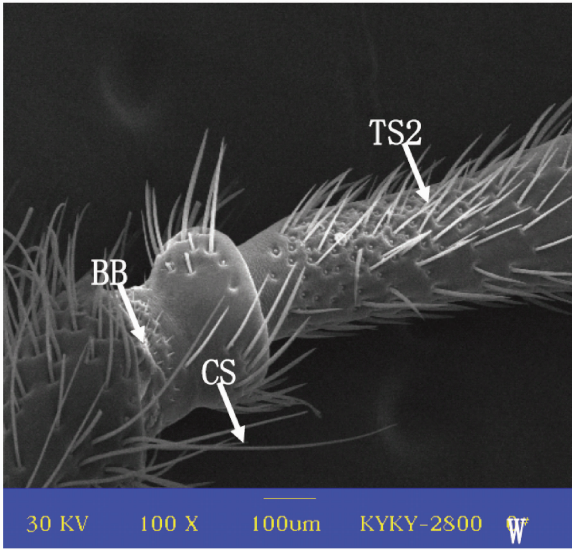
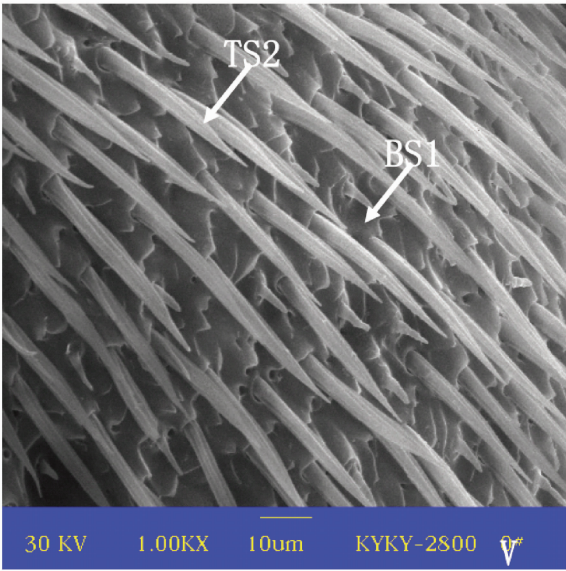
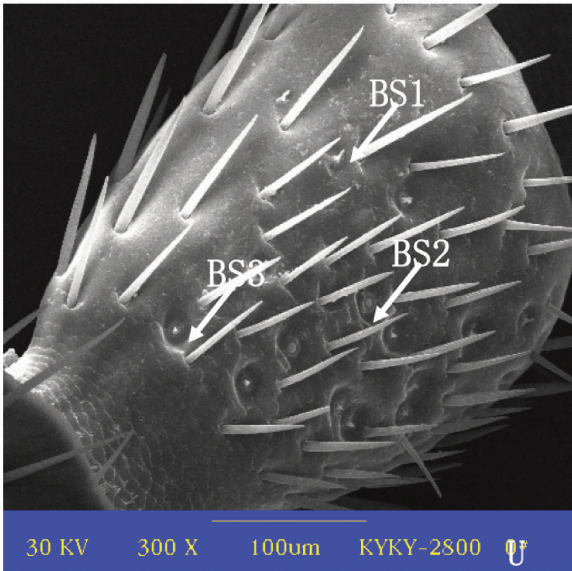
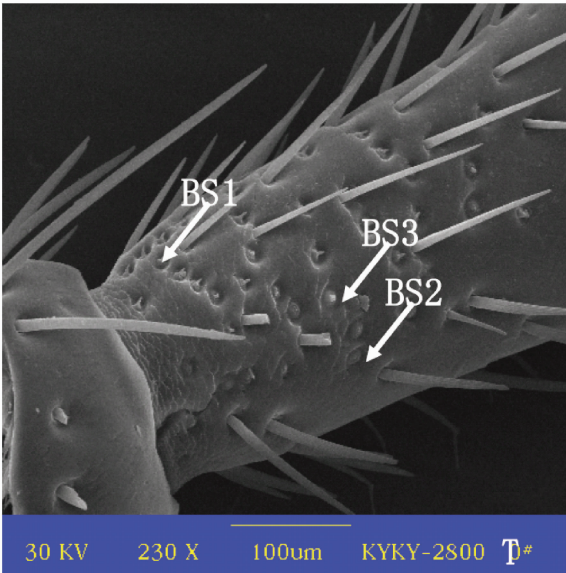
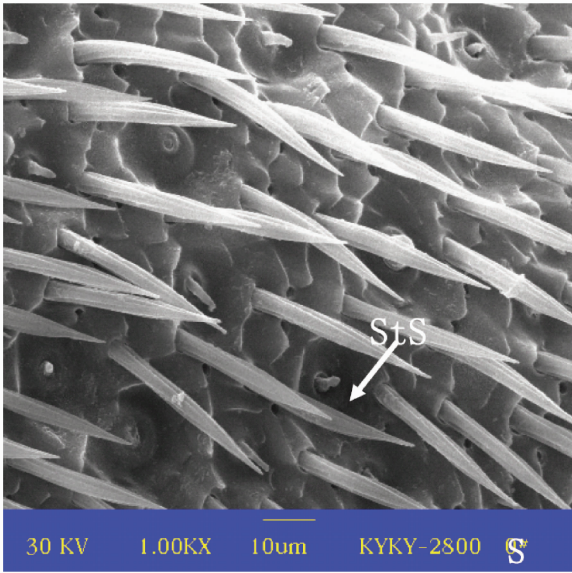
扫描电镜观察结果表明,斑芫菁族昆虫的触角感器类型以毛形感器(3 种)和锥形感器(3 种)为主,以及 Böhm 氏鬃毛感器(1 种)、耳形感器(1 种)和腔锥形感器(1 种)。除丽斑芫菁外,其他 5 种斑芫菁的鞭节末节的毛形感器均多于其它感器类型,并且丽斑芫菁在鞭节末节的毛形感器较为

稀疏,密度明显小于其他 5 种斑芫菁。丽斑芫菁鞭节末节的毛形感器大多为毛形感器Ⅲ(TS3),毛形感器 I(TS1)仅有稀疏几根,腔锥形感器(SC)与毛形感器Ⅲ(TS3)则交错分布;眼斑沟芫菁和大斑沟芫菁指名亚种鞭节末节毛形感器 I(TS1)和短毛形感器 II(TS2)交错分布,锥形感器数量较少;长角伪斑芫菁、长腹伪斑芫菁、苹斑芫菁的鞭节末节均为毛形感器 I(TS1)与锥形感器 I(BS1)交错分









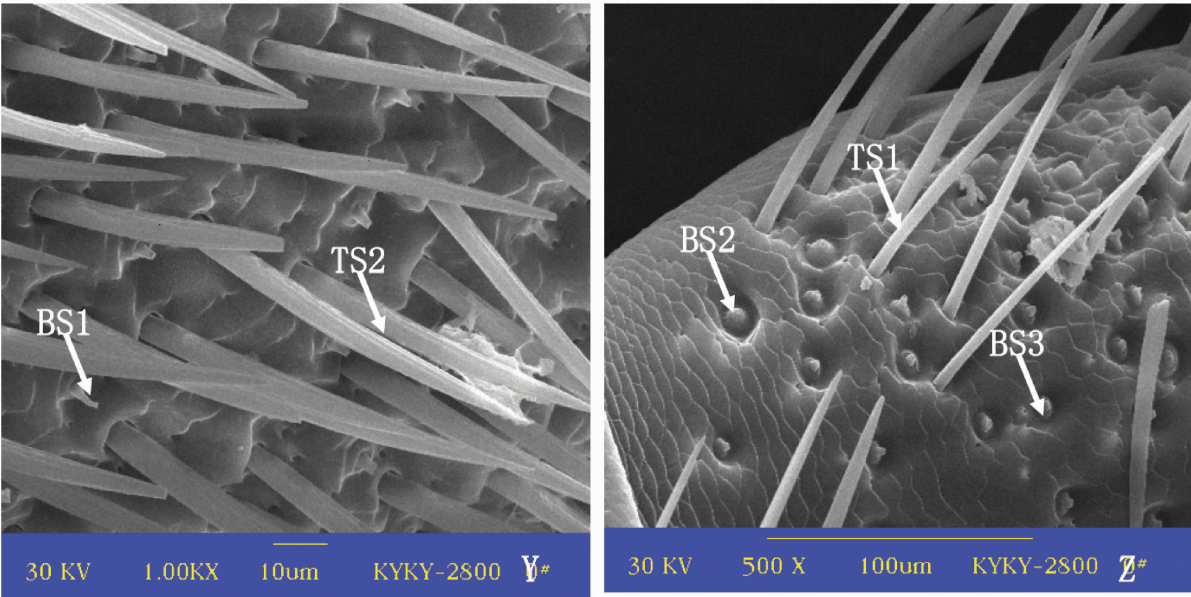


图 3 6 种芫菁触角感器扫描电镜观察

Fig. 3 Fine structures of the antennal sensilla from six Mylabrini species

A-D:宽沟芫菁 *H. cichorii*; E-H:沟芫菁 *H. phaleratus*; I-M:斑芫菁 *M. calida*; N-R:斑斑芫菁 *M. speciosa*;  
S-V:腹伪斑芫菁 *P. longiventris*; W-Z:角伪斑芫菁 *P. hingstoni*.

TS1:毛形感器 I sensilla trichodea I; TS2:毛形感器 II sensilla trichodea II; TS3:毛形感器 III sensilla trichodea III;  
CS:刺形感器 chaetica sensilla; BS1:锥形感器 I sensilla basiconica I; BS2:锥形感器 II sensilla basiconica II;  
BS3:锥形感器 III sensilla basiconica III; CoS:腔锥形感器 sensilla coeloconica; AS:耳形感器 sensilla auricillica;  
StS:栓锥形感器 sensilla styloconica; BB:Böhm 氏鬃毛 Böhm bristles.

布。锥形感器自鞭节第 1 节基部开始出现,在不同斑芫菁中分化成 2~3 种类型。耳形感器和腔锥形感器仅在丽斑芫菁上发现。

甲虫触角感器的数目与分布是各种选择压力综合作用的结果 (Chapman, 1982),在一定程度上可以反映物种的差异。其类型形成、数量分布和功能特化均具有重要的分类价值,并可根据此推断物种之间的系统发育关系。近年来,触角形态及超微结构作为不同阶元的分类特征已被广泛应用,并据此得出了与采用传统分类特征推断亲缘关系一致的结论 (Bland, 1989; Pitts and Zwiebel, 2006; 郝家胜等, 2007; 肖波等, 2009; 唐伯平等, 2009)。由图 2 可以看出,触角的形态特征可用于斑芫菁族属级阶元间的分类研究,所得结果与传统分类学的观点基本相同。在本研究的 3 个属中,伪斑芫菁属 *Pseudabris* 与斑芫菁属 *Mylabris* 形成姊妹群关系,而沟芫菁属 *Hycleus* 单成 1 支,作者认为它是斑芫菁族中较进化的一类,以前由于缺乏研究标本, Bologna 等 (2005) 未能对伪斑芫菁属

*Pseudabris* 的分类地位给予明确,本研究则基本阐明了这个问题。

本研究还表明,触角感器类型及其分布在芫菁科的属级阶元比较稳定,在不同属间存在一定差异,可作为分类性状用于属级以上高级阶元的分类,也可作为分析昆虫亲缘关系的佐证之一。

参考文献 (References)

Blair KG, 1927. Heteromera of the third Mt. everest expedition, 1924. *The Annals and Magazine of Natural History*, 19(9):253–255.

Bland RG, 1989. Antennal sensilla of Acrididae (Orthoptera) in relation to subfamily and food preference. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 82(3):368–384.

Bologna MA, D’Inzillo B, Cervelli M, Oliverio M, Mariottini P, 2005. Molecular phylogenetic studies of the Mylabrini blister beetles (Coleoptera, Meloidae). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 37(1):306–311.

Bologna MA, Pinto JD, 2002. The Old World genera of Meloidae (Coleoptera): a key and synopsis. *J. Nat. Hist.*,

- 36(17):2013–2102.
- Chapman RF, 1982. Chemoreception: the significance of receptor numbers. *Adv. Insect Physiol.*, 16:247–356.
- Linnaeus C, 1758. *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. Tomus I* (ed.). Decima, Reformata. Laurentii Salvii, Holmiae. 419.
- Pallas PS, 1781. *Icones Insectorum praesertim Rossiae Sibiriaeque peculiarum quae collegit et descriptionibus illustravit. Fasciculus primus.* W. Walther, Erlangae. 1–56.
- Pallas PS, 1782. *Icones Insectorum praesertim Rossiae Sibiriaeque peculiarum quae collegit et descriptionibus illustravit. Fasciculus secundus.* W. Walther, Erlangae. 57–96.
- Pitts RJ, Zwiebel L, 2006. Antennal sensilla of two female anopheline sibling species with differing host ranges. *Malaria J.*, 5: 26.
- Schneider D, 1964. Insect antennae. *Annu. Rev. Entomol.*, 9:103–122.
- Zacharuk RY, 1980. Ultrastructure and function of insect chemosensilla. *Annu. Rev. Entomol.*, 25:27–47.
- Zacharuk RY, 1985. Antennae and sensilla//Kerkut GA, Gilbert LI (eds.). *Comparative Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, Vol. 6. Pergamon Press, Oxford. 1–69.
- Zacharuk RY, 1991. Sensilla of immature insect. *Annu. Rev. Entomol.*, 36:331–354.
- 郝家胜, 殷先兵, 苏成勇, 黄敦元, 许丽, 2007. 12 科国产蝶类代表种类触角的扫描电镜观察及其系统学意义. *安徽师范大学学报*, 30(3):354–360.
- 李竹, 陈力, 2010. 触角感器特征应用于昆虫分类的研究进展. *昆虫分类学报*, 32(增刊):113–118.
- 唐伯平, 陈立侨, 周开亚等, 2009. 绒螯蟹触角形态特征及其在分类中的应用. *动物分类学报*, 34(1):79–86.
- 肖波, 方宁, 张妍妍, 轩文娟, 蒋国芳, 2009. 蜚蠊目(六足总纲, 昆虫纲)八种昆虫触角感受器的扫描电镜观察. *动物分类学报*, 34(2):292–300.