

# 黑翅土白蚁触角感器的扫描电镜观察\*

张新慰<sup>1\*\*</sup> 嵇保中<sup>1\*\*\*</sup> 刘曙雯<sup>2\*\*\*</sup> 杨锦锦<sup>1</sup> 赵正萍<sup>1</sup>  
王丽平<sup>1</sup> 王亚召<sup>1</sup> 丁芳<sup>1</sup>

(1. 南方现代林业协同创新中心, 南京林业大学林学院, 南京 210037; 2. 南京中山陵园管理局, 南京 210014)

**摘要** 【目的】通过黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* (Shiraki) 幼蚁、工蚁、兵蚁触角感器种类、数量及分布的研究, 分析不同龄幼蚁、工蚁和兵蚁的触角感器特征, 为进一步研究触角感器发育特点及不同个体的行为分化机制提供参考。【方法】通过扫描电镜观察触角形态, 分析触角节数、感器种类、数量及分布特征。【结果】工蚁、兵蚁、幼蚁个体触角长度差异显著, 触角长度顺序: 工蚁 > 兵蚁 > 3 龄幼蚁 > 2 龄幼蚁 > 1 龄幼蚁; 触角感器共有 9 种类型, 分别为短毛形感器、长毛形感器、短刺形感器、长刺形感器、锥状 Böhm 氏鬃毛、球状钟形感器、刺突状钟形感器、球状钟形感器与刺突状钟形感器中间型、长刺具泡状感器。工蚁、兵蚁缺少长刺具泡状感器。幼蚁触角感器种类和数量随龄数而增加, 1 龄幼蚁具 7 种感器, 缺少球状钟形感器和球状钟形感器与刺突状钟形感器中间型 2 种类型; 2 龄幼蚁具有 8 种感器, 缺球状钟形感器; 3 龄幼蚁具有全部 9 种类型感器。【结论】黑翅土白蚁幼蚁、工蚁、兵蚁触角节数和感器显著差异, 可作为幼蚁龄数以及非生殖品级判别的形态指标, 应用于白蚁非生殖品级行为多型等相关研究。  
**关键词** 黑翅土白蚁, 触角, 感器, 扫描电镜

## Scanning electron microscopy studies of the antennal sensilla of *Odontotermes formosanus* (Shiraki)

ZHANG Xin-Wei<sup>1\*\*</sup> JI Bao-Zhong<sup>1\*\*\*</sup> LIU Shu-Wen<sup>2\*\*\*</sup> YANG Jin-Jin<sup>1</sup> ZHAO Zheng-Ping<sup>1</sup>  
WANG Li-Ping<sup>1</sup> WANG Ya-Zhao<sup>1</sup> Ding Fang<sup>1</sup>

(1. Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. The Administration Bureau of Dr. Sun Yat-sen's Mausoleum, Nanjing 210014, China)

**Abstract** [Objectives] To determine the types, number and distribution of antennal sensilla in larvae, workers and soldiers of *Odontotermes formosanus* (Shiraki), and to analyze the characteristics of antennal sensilla in order to provide a reference for studying the developmental characteristics of antennal sensilla and the mechanism underlying behavior differentiation among different castes. [Methods] The morphological characteristics of antennae were observed using scanning electron microscopy, and the type, number, and distribution of antennal sensilla, and the antennal segment number, noted. [Results] There were significant differences in antennal length among larvae, workers and soldiers which can be ranked in descending order as follows; worker > soldier > 3<sup>rd</sup> instar larva > 2<sup>nd</sup> instar larva > 1<sup>st</sup> instar larva. A total of nine types of antennal sensilla were found. These were: short sensillatrachea, long sensillatrachea, short sensillachaeata, long sensillachaeata, Böhm bristle, sensilla campaniformia, furcella-shape sensillacampaniformia, the intermedium type sensillacampaniformia (something similar to the sensillacampaniformia and furcella-shape sensilla), long sensillatrachea with a bubble at the terminal. Workers and soldiers did not have the long sensillatrachea with the bubble at the terminal. The number and types of sensilla on larval antennae increased with instar. For example, there were seven types of sensilla in 1<sup>st</sup>

\* 资助项目 Supported projects :江苏省自然科学基金项目 (BK2012816) ;高等学校博士学科点专项科研基金项目 (20123204110001) ;南京市建委中山陵园管理局资助课题 (200409) ;江苏高校优势学科建设工程资助项目 ;南京林业大学南方现代林业协同创新中心资助项目

\*\*第一作者 First author, E-mail : zhangxinwei892@163.com

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail : jbz9885@njfu.edu.cn; liushuwen2006@163.com

收稿日期 Received : 2015-06-23, 接受日期 Accepted : 2015-06-30

instar larvae except sensillacampaniformia and the intermedius type sensillacampaniformia (something similar to the sensillacampaniformia and furcella-shape sensilla), eight types in 2<sup>nd</sup> instar larvae except sensillacampaniformia, and all nine types in 3<sup>rd</sup> instar larvae. [Conclusion] The presence of significant difference in antennal segment number and antennal sensilla among larvae, workers and soldiers means that antennal sensilla can be used to identify these castes.

**Key words** *Odontotermes formosanus*, antennae, antennal sensilla, scanning electron microscopy

白蚁作为典型的社会性昆虫,群体内职责分工明确,工蚁、兵蚁、蚁王、蚁后在品级水平上的分化,使生殖与非生殖活动分离。同时,在相同品级或同类个体不同发育阶段,还存在职责上的分工并形成相应的形态分化个体,这种分化称为行为多型(Polyethism)(张健华等,2003)。如此复杂细致的分化,必然要求不同个体间精致的行为感知与调节。除少数露天活动的白蚁种类外,多数白蚁营群体穴居生活,其单眼与复眼均退化消失,主要依赖触角感受外界环境中各种物理、化学信息。白蚁触角感器的早期研究如Abushama(1966)的工作,他们研究了湿木白蚁 *Zootermopsis angusticollis* 触角嗅觉感器(Olfactory receptors);近年来报道的种类有台湾乳白蚁 *Coptotermes formosanus*、黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus*、黄胸散白蚁 *Reticulitermes flaviceps* 等(何黄英,2006;Noma *et al.*,2006;Yanagawa *et al.*,2009;王洁,2011),其研究内容涉及白蚁触角感器种类及识别特征、分布特点以及功能分析。黑翅土白蚁是分布于中国南部及亚洲其他国家的重要害虫(Cheng *et al.*,2007;文平等,2009),王洁(2011)将黑翅土白蚁工蚁与兵蚁触角感器与黄胸散白蚁 *R. flaviceps* 及台湾乳白蚁的相比较,研究了触角感器差异性对于白蚁药剂药效以及植物引诱效果的影响。我们近期的研究表明,黑翅土白蚁在食物采集、加工和分配过程中存在显著的行为多型现象(Soleymaninejadian *et al.*,2014a,2014b),本文从黑翅土白蚁不同品级及不同发育阶段个体触角发育的角度研究触角感器的形态分化,为进一步研究其行为多型的机理提供依据,也可作为新的防治途径研究提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

2014年5月,于南京林业大学树木园(32°4'N 118°4'E,属亚热带季风气候,雨量充沛,年平均降水1200 mm,年平均温度15.4°C,年极端气温最高39.7°C,最低-13.1°C,春秋短、冬夏长,冬夏温差显著)挖巢采集黑翅土白蚁,将蚁巢菌圃带回室内,采集其上幼蚁及虫卵;用小毛笔从蚁巢菌圃上采集黑翅土白蚁虫卵,将虫卵轻轻拨至无菌培养皿中,培养皿内置有滤纸双面保湿,将放有虫卵的培养皿置于26°C遮光培养箱(PGX智能光照培养箱)孵化培养,每天观察虫卵孵化情况,虫卵孵化后收集1龄幼蚁;将带回室内的蚁巢菌圃剖解,剔除其中工蚁及兵蚁,采集其他龄幼蚁,用于试验。

### 1.2 扫描电镜观察

采集供试昆虫,划分幼蚁龄期,将样本用蒸馏水清洗数次后,用5%酒精清洗3次,放入固定液(1 mL戊二醛二醛,0.2 mol/L磷酸缓冲生理盐水5 mL,加蒸馏水稀释10 mL)中固定24 h,然后用蒸馏水清洗3次,再分别用30%,50%,70%,80%,90%,100%的乙醇进行梯度脱水,每次15 min,其中100%的乙醇脱水2次。用乙酸异戊酯处理后,放入干燥篮,用临界点干燥仪干燥,将干燥好的样品用导电胶粘在样品台上,用离子溅射仪进行喷金处理。喷金后,在FEI Quanta 200环境扫描电镜下观察、拍照。本文中各种感器的分类及名称标注主要参考Schneider(1964)和马瑞燕和杜家纬(2000)的研究成果。

### 1.3 数据处理与分析

数据结果采用SPSS 19.0统计分析软件处理

分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 触角一般形态特征

通过环境扫描电镜观察,发现黑翅土白蚁触角为典型念珠状,第1节柄节较长,呈圆柱形,第2节梗节,较柄节短,呈梯形;鞭节每亚节呈念珠状,基部亚节较短,端部较长,长度由基部向端部逐渐增加。其中1龄幼蚁触角为13节(含3节发育未成熟的鞭节)(图1:A),2龄幼蚁触角为15节(含3节发育未成熟的鞭节)(图1:B);3龄幼蚁触角为17节(含2节发育未成熟的鞭节)(图1:C),兵蚁触角为16节(图1:D),工蚁触角为17节(图1:E);不同品级触角总长度采用 Duncan's 多重比较,结果表明:当显著性水平  $\alpha=0.01$  时,  $P=0.00<0.01$ ,各品级触角总长度具有极显著性差异,且触角长度随龄期的增加而增长,触角长度工蚁>兵蚁>3龄幼蚁>2龄幼蚁>1龄幼蚁。

### 2.2 触角传感器类型与分布

黑翅土白蚁触角共具9种类型传感器,分别为短毛形感器(Sensilla trichodea, ST2),长毛形感器(Sensilla trichodea, ST1),短刺形感器

(Sensilla chaetica, SC2),长刺形感器(Sensilla chaetica, SC1),锥状Böhm氏鬃毛(Böhm bristle, BB),球状钟形感器(Sensilla campaniformia, SCA),刺突状钟形感器(Furcella-shape sensillacampaniformia, X),球状钟形感器与刺突状钟形感器间的中间型(The intermedius type sensillacampaniformia (Something similar to the sensillacampaniformia and the furcella-shape sensilla, X/SCA)),和未见报道过的长刺具泡状的感器(Long sensillatrachodea with a bubble at the terminal, U)。

**2.2.1 毛形感器(ST)** 黑翅土白蚁触角上毛形感器数量多,分布最广,密度由触角基部向端部递增(图1)。毛形感器在触角端部存在不同程度弯曲,着生角度约 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ,具两种长度类型:短毛形感器(ST2)、长毛形感器(ST1)。如图1与图2可看出,黑翅土白蚁不同品级触角均具有毛形感器,但毛形感器的长度与数量具有明显的品级差异,并随龄数增加而增长,毛形感器的长度与数量工蚁>兵蚁>3龄幼蚁>2龄幼蚁>1龄幼蚁。

**2.2.2 刺形感器(SC)** 黑翅土白蚁触角上刺形感器比其它感器明显长许多,与毛形感器相似,主要着生于触角鞭节端部膨大部位,多数具

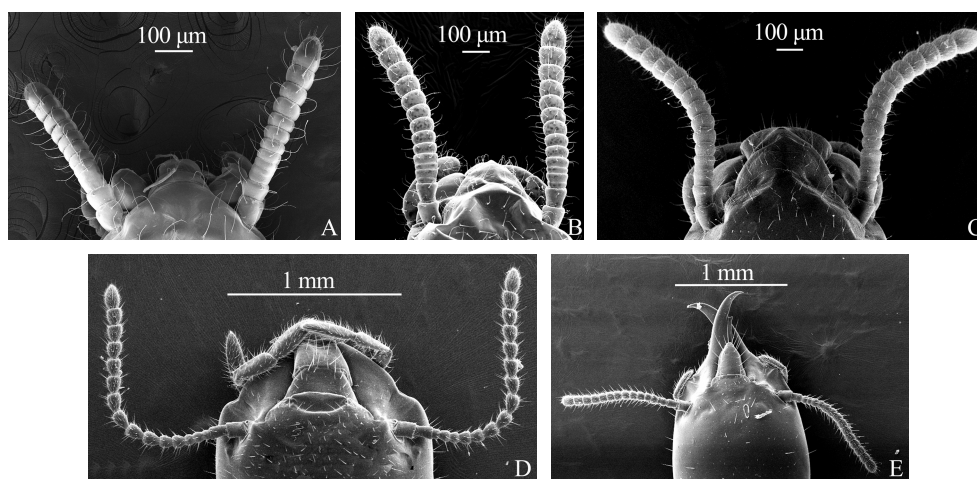


图1 黑翅土白蚁触角扫描电镜图

Fig. 1 SEM micrographs of antenna of *Odontotermes formosanus*

A. 1龄幼蚁; B. 2龄幼蚁; C. 3龄幼蚁; D. 工蚁; E. 兵蚁。

A. The 1<sup>st</sup> instar larva; B. The 2<sup>nd</sup> instar larva; C. The 3<sup>rd</sup> instar larva; D. The worker; E. The soldier.

表 1 黑翅土白蚁触角长度  
Table 1 The antennal length of *Odontotermes formosanus*

| 品级 Castes                              | 触角长度<br>The antennal length<br>(mm) |
|----------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 龄幼蚁 The 1 <sup>st</sup> instar larva | 0.4378±0.0033A                      |
| 2 龄幼蚁 The 2 <sup>nd</sup> instar larva | 0.7940±0.0047B                      |
| 3 龄幼蚁 The 3 <sup>rd</sup> instar larva | 0.9642±0.0095C                      |
| 采食兵蚁 The foraging worker               | 1.1754±0.0055D                      |
| 采食工蚁 The foraging soldier              | 1.6983±0.0074E                      |

表中数据为平均值±标准差；同列数据后标有不同字母表示在 0.01 水平上差异显著。

Data are mean±SD, and followed by different letters in the same row indicated significant difference at  $\alpha=0.01$  level.

机械感受功能，感觉壁具纵向刻纹，存在两种长度类型：短刺形感器 (SC2)、长刺形感器 (SC1)。由图 1 和图 2 可看出，密度由基部向端部递增，

不同品级触角均具刺形感器，感器数量与密度在不同品级及不同发育阶段个体中具明显差异，幼蚁感器数量并随龄数增加而增长，但较工蚁与兵蚁相对较少（表 2）。

**2.2.3 锥状 Böhm 氏鬃毛 (BB)** 黑翅土白蚁触角上锥状 Böhm 氏鬃毛数量较其他感器数量少，锥状 Böhm 氏鬃毛簇着生于触角柄节与梗节基部，鞭节不具此类型感器，感器短而尖，大多垂直于表面，光滑无孔。由图 3 可看出，不同品级个体触角均具锥状 Böhm 氏鬃毛，除在感器长度上具有差别，锥状 Böhm 氏鬃毛数量工蚁约 6 个，兵蚁约 4 个，1 龄幼蚁约 3 个，2 龄幼蚁约 3 个，3 龄幼蚁约 3 个，数量差别小。

**2.2.4 钟形感器 (SCA)** 黑翅土白蚁触角上钟形感器分布于过渡到节间的鞭节前端缢缩面上，呈半球状，表面为光滑的有孔薄壁，周围有光滑而清晰的厚壁边缘。黑翅土白蚁钟形感器可分

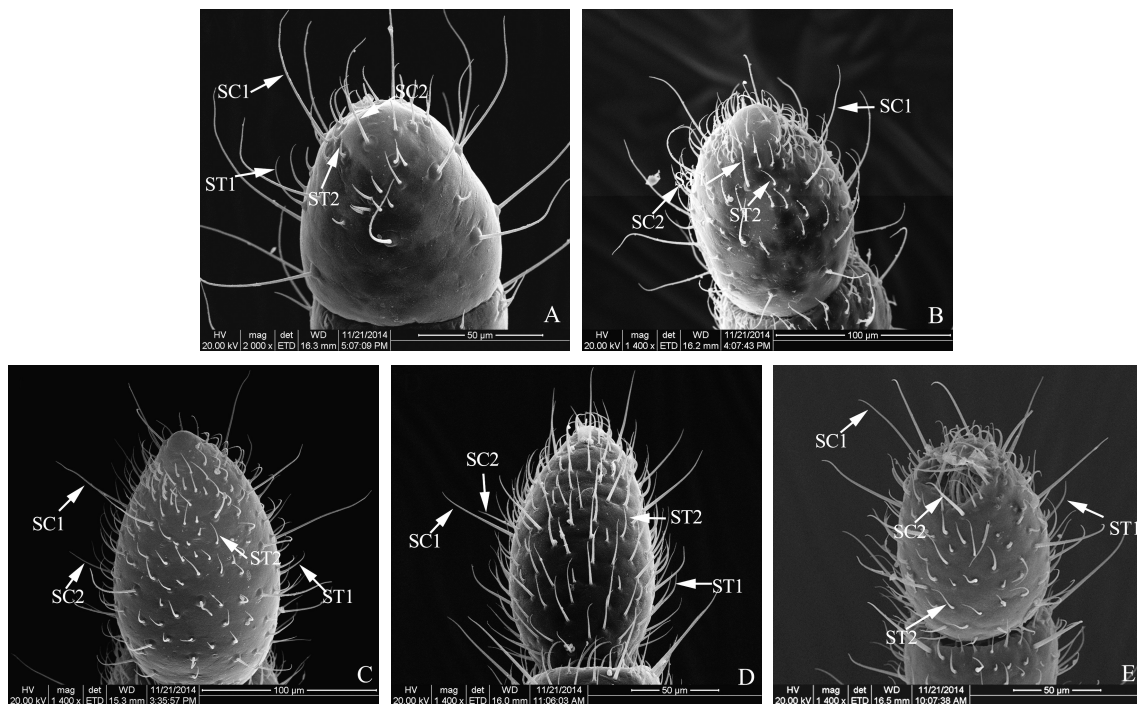


图 2 黑翅土白蚁触角毛形感器与刺形感器扫描电镜图

Fig. 2 SEM micrographs of sensillumtrichodea and sensillachactica on the antennae of *Odontotermes formosanus*

A. 1 龄幼蚁；B. 2 龄幼蚁；C. 3 龄幼蚁；D. 工蚁；E. 兵蚁。

A. The 1<sup>st</sup> instar larva; B. The 2<sup>nd</sup> instar larva; C. The 3<sup>rd</sup> instar larva; D. The worker; E. The soldier.

ST1：长毛形感器 Sensilla trichodea；ST2：短毛形感器 Sensilla trichodea；

SC1：长刺形感器 Sensilla chaetica；SC2：短刺形感器 Sensilla chaetica.



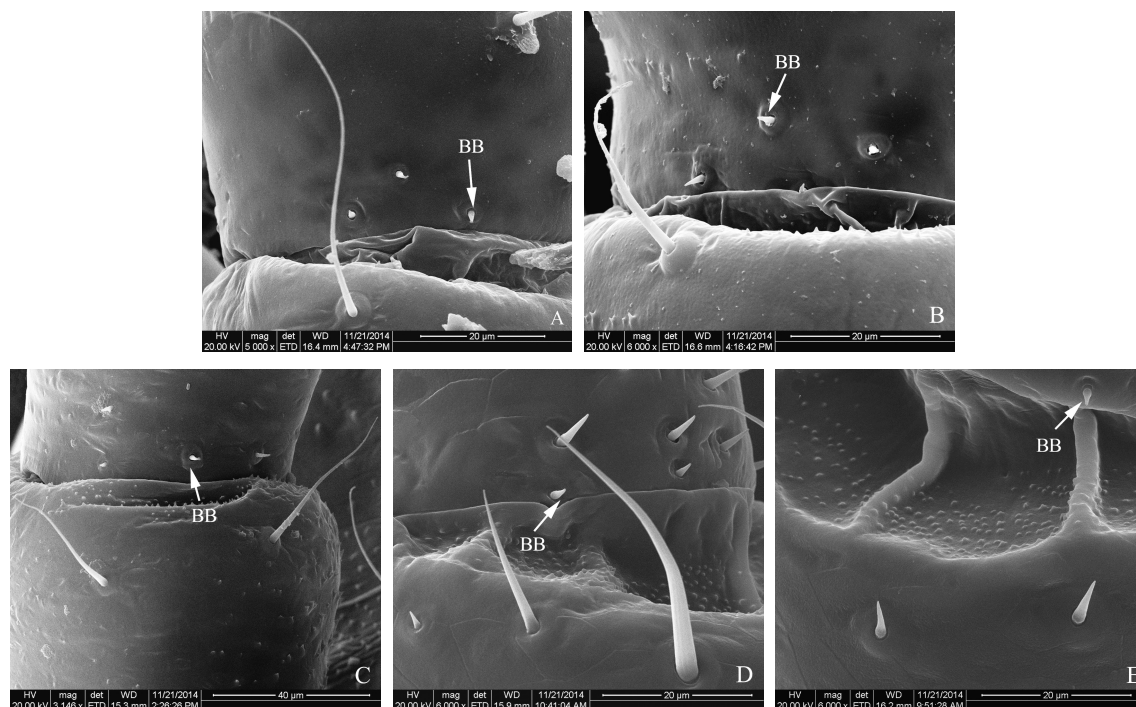


图 3 黑翅土白蚁触角锥状 Böhm (BB) 氏鬃毛扫描电镜图

Fig. 3 SEM micrographs of Böhm bristle (BB) on the antennae of *Odontotermes formosanus*

A. 1 龄幼蚁; B. 2 龄幼蚁; C. 3 龄幼蚁; D. 工蚁; E. 兵蚁。

A. The 1<sup>st</sup> instar larva; B. The 2<sup>nd</sup> instar larva; C. The 3<sup>rd</sup> instar larva; D. The worker; E. The soldier.

为 3 种类型, 即球状钟形感器 (SCA), 刺突状钟形感器 (X), 球状钟形感器与刺突状钟形感器的中间型 (X/SCA)。由图 4 可看出, 不同品级触角均具钟形感器, 在感器种类、数量、密度与大小存在明显差异, 并随龄数而增加, 其中 1 龄幼蚁钟形感器种类单一, 仅具刺突状钟形感器 (X) 并零星分布于节间; 2 龄幼蚁具两种钟形感器, 即刺突状钟形感器 (X) 与球状钟形感器与刺突状钟形感器中间型 (X/SCA) 2 种, 数量相对 1 龄幼蚁多; 3 龄幼蚁具 3 种钟形感器类型, 并且数量、密度较 1 龄、2 龄幼蚁多但较工蚁与兵蚁相对较少; 兵蚁也具 3 种钟形感器, 但其感器体积较工蚁小, 球状钟形感器与刺突状钟形感器中间型 (X/SCA) 居多; 工蚁具 3 种钟形感器, 感器在数量、密度等方面均大于其他品级个体 (表 2)。

**2.2.5 长刺具泡状感器 (U)** 由图 5 可看出, 在本研究中发现一种新型感器, 并仅发现于黑翅土白蚁幼蚁触角上, 其基部与长刺形感器相似,

感器中上部位具有泡状的隆起, 零星分布于幼蚁触角末端鞭节且数量较少, 这类感受器的结构和功能尚不清楚。该类感器数量随着龄期的增加有一定的增加, 但增加的数量较少 (表 2)。

### 3 讨论

在触角长度、感器种类与数量等方面, 工蚁均最为发达, 其次为 3 龄幼蚁与兵蚁, 1 龄与 2 龄幼蚁相对较弱, 说明工蚁具备成熟的感觉器官, 对外界环境中化学物理因素感知强; 3 龄幼蚁与兵蚁已具相对成熟的嗅觉器官, 可具一定程度的独立活动能力; 1 龄与 2 龄幼蚁感器数量相对较少, 反映其活动能力差, 尚不具备独立生活能力。触角感觉器官的发育程度符合不同品级及不同发育阶段个体取食能力状况 (黄求应, 2006), 具有发达触角感觉器官的工蚁是食料采集、加工、分配的主力, 3 龄幼蚁已经具有一定程度的取食能力, 1 龄与 2 龄幼蚁取食能力较弱, 需通过交哺等方式获得营养物质。兵蚁虽然属于

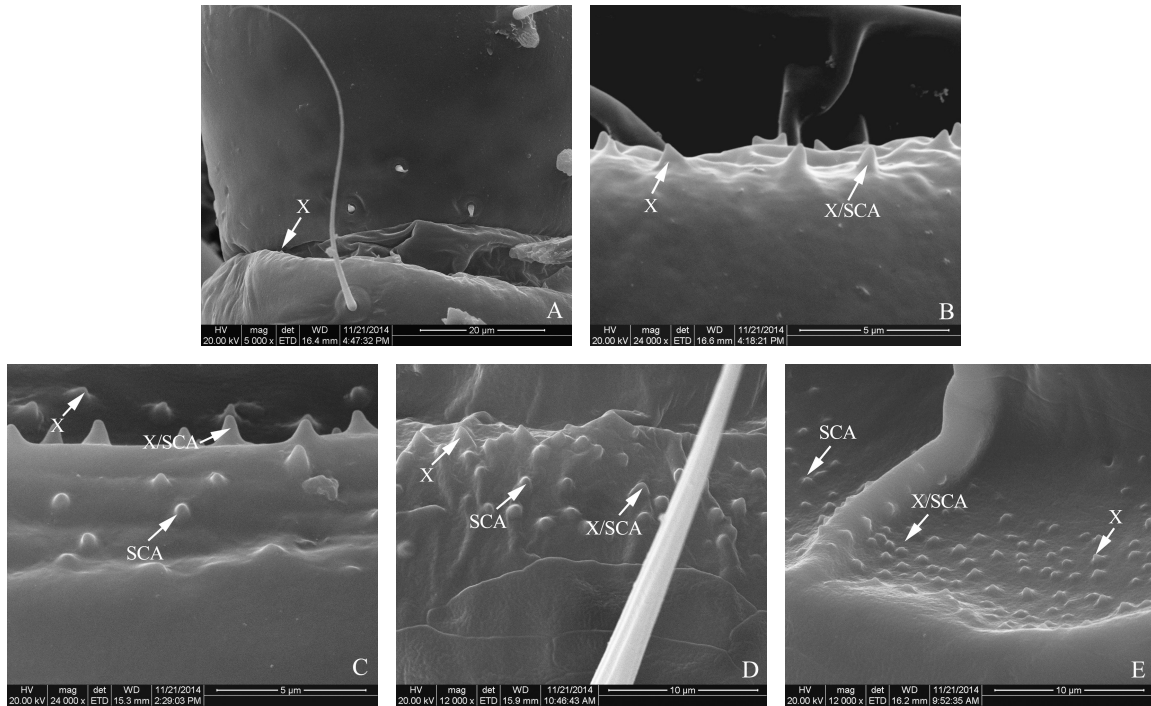


图 4 黑翅土白蚁触角钟形感器扫描电镜图

Fig. 4 SEM micrographs of sensillacampaniformia on the antennae of *Odontotermes formosanus*

A. 1 龄幼蚁；B. 2 龄幼蚁；C. 3 龄幼蚁；D. 工蚁；E. 兵蚁。

A. The 1<sup>st</sup> instar larva; B. The 2<sup>nd</sup> instar larva; C. The 3<sup>rd</sup> instar larva; D. The worker; E. The soldier.

SCA：球状钟形感器 Sensilla campaniformi；X：刺突状钟形感器 Furcella-shape sensillacampaniformi；X/SCA：球状钟形感器与刺突状钟形感器间的中间型 The intermedius type sensillacampaniformia (something similar to the sensillacampaniformia and the furcella-shape sensilla) .

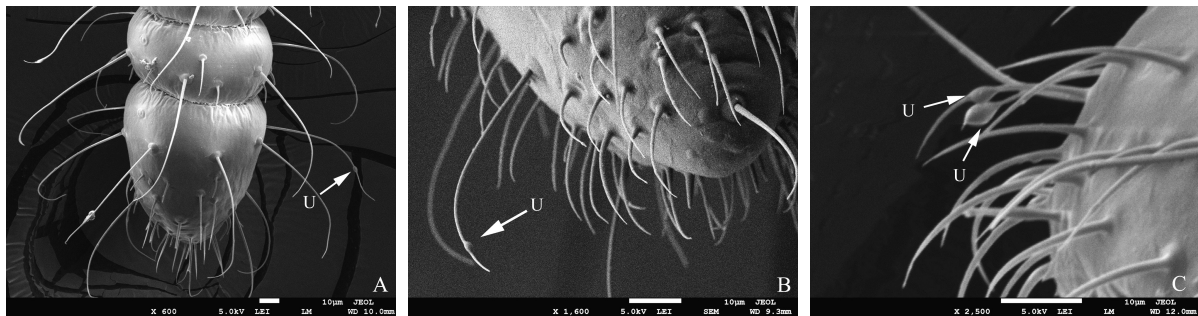


图 5 黑翅土白蚁幼蚁触角长刺具泡状感器 (U) 扫描电镜图

Fig. 5 SEM micrographs of U on the antennae of the larvae of *Odontotermes formosanus*

A. 1 龄幼蚁；B. 2 龄幼蚁；C. 3 龄幼蚁。

A. The 1<sup>st</sup> instar larva; B. The 2<sup>nd</sup> instar larva; C. The 3<sup>rd</sup> instar larva.

依赖性品级，但食物侦察和防御信息收集，使触角感器达到一定的发达水平。

王洁 (2011) 在黑翅土白蚁在兵蚁触角上发现 Böhm 氏鬃毛、毛形感器、刺形感器、锥形感

器、冠形感器 5 种感器类型，而在工蚁触角上仅发现除冠形感器外的 4 类感器。本研究发现黑翅土白蚁工蚁触角感器有 8 种，除与王洁 (2011) 报道相同的种类外，新发现球状钟形感器、刺突

表 2 黑翅土白蚁触角传感器类型与数量  
Table 2 The types and quantity of the antennal sensilla in *Odontotermes formosanus*

| 传感器类型<br>The type of sensilla | 1 龄幼蚁<br>The 1 <sup>st</sup> instar larva | 2 龄幼蚁<br>The 2 <sup>nd</sup> instar larva | 3 龄幼蚁<br>The 3 <sup>rd</sup> instar larva | 采食兵蚁<br>The forging soilder | 采食工蚁<br>The forging worker |
|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 短毛形传感器(ST2)                   | +                                         | ++                                        | ++++                                      | ++++                        | +++++                      |
| 长毛形传感器(ST1)                   | +                                         | +++                                       | +++++                                     | ++++                        | +++++                      |
| 短刺形传感器(SC2)                   | +                                         | ++                                        | +++                                       | ++++                        | +++++                      |
| 长刺形传感器(SC1)                   | +++                                       | ++++                                      | ++++                                      | ++++                        | +++++                      |
| 锥状 Böhm 氏鬃毛(BB)               | +                                         | +                                         | +                                         | +                           | +                          |
| 刺突状钟形传感器(SCA)                 | +                                         | +++                                       | ++++                                      | ++++                        | ++++                       |
| 中间型钟形传感器(X\SC A)              | —                                         | ++++                                      | +++++                                     | +++++                       | +++++                      |
| 球状钟形传感器(X)                    | —                                         | —                                         | +++                                       | +                           | +++++                      |
| 长刺具泡状感器(U)                    | +                                         | +                                         | +                                         | —                           | —                          |

表中数据为单只触角统计数据,“+”表示存在,“—”表示不存在,“+”的数量表示传感器数量的多少程度;“+”表示数量为 1~20 个;“++”: 21~40 个;“+++”: 41~60 个;“++++”: 61~80 个;“+++++”: >80 个。  
The data in Table 2 are collected from a single antenna. “+” indicates the sensilla present while “—” indicates not present. Different numbers of “+” illustrates different ranges of sensilla numbers: “+” indicate the numbers of sensilla are in the range of 1-20; “++”, “+++”, “++++”, and “+++++” indicate 21-40, 41-60, 61-80, and >80 sensilla, respectively.

状钟形传感器、球状钟形传感器与刺突状钟形传感器的中间型。同时,还发现毛形传感器与刺形传感器也存在两种长度类型。黑翅土白蚁兵蚁触角传感器种类:王洁(2011)报道有 5 种,本研究发现有 8 种,除 4 种与王洁(2011)报道的相同外,新发现类型有:球状钟形传感器、刺突状钟形传感器、球状钟形传感器与刺突状钟形传感器的中间型,其中王洁(2011)报道的冠形传感器本研究中没有出现,而造成上述差异的原因,有待进一步研究。

与台湾乳白蚁 *C. formosanus* 等白蚁相比较,黑翅土白蚁 *O. formosanus* 触角传感器常见种类有毛形传感器、刺形传感器、锥形传感器、钟形传感器等(何黄英,2006;Noma *et al.*, 2006),特征性种类有球状钟形传感器、刺突状钟形传感器、球状钟形传感器与刺突状钟形传感器的中间型、长刺具泡状感器等。从触角传感器类型分析,黑翅土白蚁具有较多钟形传感器,钟形传感器为有孔结构,感觉塞穿过表皮而伸出,对气味、二氧化碳、温湿度等敏感(马瑞燕等,2000;那杰等,2008),可能意味着黑翅土白蚁对于对气味、二氧化碳、温湿度等条件

更为敏感。同时,1 龄幼蚁仅具 1 种钟形传感器,2 龄幼蚁具 2 种,3 龄幼蚁及其他品级均具有 3 种。说明钟形传感器在信息感受中较为重要,随着发育的进程其种类和数量逐渐增加,个体对环境中气味等信息感知能力逐渐提高,取食方式逐步转化。长刺具泡状感器仅发现与黑翅土白蚁幼蚁中,目前未见到相关报道,该传感器基部与刺形传感器相似,推测该传感器可能为化学感受器,可能与幼蚁取食食性等相关行为有关。该传感器的功能及其与幼蚁发育的关系,有待进一步研究。

参考文献 (References)

Abushama FT, 1966. Electrophysiological investigations on the antennal olfactory receptors of the damp-wood termite *Zootermopsis angusticollis*. *Entomologia et Applicata*, 9(3): 343–348  
Cheng ML, Mo JC, Deng TF, Mao WG, Li D, 2007. Biology and ecology of *Odontotermes formosanus* in China (Isoptera: Termitidae). *Sociobiology*, 50(1): 45–61.  
He HY, 2006. Preliminary study on the mechanism of inter-colony recognition in *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera:

- Rhinotermitidae). Masteral dissertation. Hangzhou: Zhejiang University. [何黄英, 2006. 台湾乳白蚁巢间识别机制初步研究. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学]
- Huang QY, 2006. Study on foraging behavior and baiting system for *Odontotermes formosanus* (Isoptera: Termitidae). Doctoral dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [黄求应, 2006. 黑翅土白蚁觅食行为学基础及诱杀系统的研究. 博士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Ma RY, Du JW, 2000. The antennal sensillae of insect. *Entomological Knowledge*, 37(3): 179–183. [马瑞燕, 杜家纬, 2000. 昆虫的触角感器. 昆虫知识, 37(3): 179–183.]
- Na J, Yu WX, Li YP, Dong X, Jiao J, 2008. Types and physiological ecology significance of insect antenna sensilla. *Journal of Shenyang Normal University (Natural Science)*, 26(2): 213–216. [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.]
- Noma K, Ogino K, Nishikawa M, Yokohari F, 2006. Antennal sensilla of a termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 145(3/4): 418.
- Schneider D, 1964. Insect antenna. *Annual Review of Entomology*, 9: 103–112.
- Soleymaninejadian E, Ji BZ, Liu SW, Yang JJ, Zhang XW, 2014a. Foraging polyethism in *Odontotermes formosanus* Shiraki. *Journal of Advanced Agriculture Technologies*, 1(1): 32–42.
- Soleymaninejadian E, Ji BZ, Liu SW, Yang JJ, Zhang XW, Ding F, 2014b. Polyethism in the case of feeding, construction, and defense behaviors of *Odontotermes formosanus*. *International Journal of Agriculture and Innovation Research*, 3(1): 1473–2319.
- Wang J, 2011. Attractive activity of plant materials against termite and scanning electron microscopy studies of antennal sensillae of termite. Masteral dissertation. Chongqing: Southwest University. [王洁, 2011. 植物材料对白蚁的引诱活性及白蚁触角感器的扫描电镜分析. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Wen P, Ji BZ, Liu SW, 2009. Investigation and evaluation of termite damage to urban forest trees. *China Forestry Science and Technology*, 23(4): 34–39. [文平, 嵇保中, 刘曙雯, 2009. 园林树木白蚁危害的调查与评价. 林业科技开发, 23(4): 34–39.]
- Yanagawa A, Shimizu S, Noma K, Nishikawa M, Kazumasa O, Yokohari F, 2009. Classification and distribution of antennal sensilla of the termite *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology*, 54(2): 327–349.
- Zhang JH, Li WJ, Chen LL, Zhuang TY, Meng QZ, 2003. Polyethism in the formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki. *Acta Entomologica Sinica*, 46(3): 333–338. [张健华, 李文健, 陈丽玲, 庄天勇, 蒙启枝, 2003. 台湾乳白蚁行为多型的研究. 昆虫学报, 46(3): 333–338.]