

## 고운까막노래기 (*Oxidus gracilis*) 안테나 감각모의 미세구조

정 경 훈, 문 명 진<sup>1,\*</sup>  
한남대학교 생명나노과학대학 생명과학과,  
<sup>1</sup>단국대학교 첨단과학대학 생물학과, 기초과학연구소

### Fine Structure of the Antennal Sensilla of the Millipede *Oxidus gracilis* (Polydesmida: Paradoxomatidae)

Kyung-Hwun Chung and Myung-Jin Moon<sup>1,\*</sup>  
Department of Biological Sciences, Hannam University, Daejeon 300-791, Korea  
<sup>1</sup>Department of Biological Sciences & Institute of Basic Science, Dankook University,  
Cheonan 330-714, Korea

(Received October 1, 2007; Accepted October 31, 2007)

#### ABSTRACT

Although the biological significance of the antennal sensillae to millipedes are widely understood, the structure and function of the antennal sensillae are still not clear and more precise analysis is required. Thus, this study initiate to reveal the fine structural characteristics of various sensory receptors on the antennae of millipede *Oxidus gracilis* were observed with field emission scanning electron microscopy (FESEM). The antennae generally include eight segments, called articles. On the surface of the antennae, there are a variety of sensory receptors which include olfactory and mechanical receptors. We could identify four different types of antennal sensillae in *O. gracilis* as follows: apical cone sensilla, trichoid sensilla, chaetiform sensilla and basiconic sensilla. The most prominent is four large apical cone sensillae on distal tip of the 8th article. Both of trichoid and chaetiform sensillae are abundantly observed at the most of antennal articles. These sharply pointed structures are inclined and slightly curved toward the apex of the sensilla. The basiconic sensilla are further divided into three subtypes: large basiconic sensilla (Bs<sub>1</sub>), small basiconic sensilla (Bs<sub>2</sub>) and spiniform sensilla (Bs<sub>3</sub>). The Bs<sub>1</sub> is located at the 5th and 6th articles, while the Bs<sub>2</sub> and Bs<sub>3</sub> can be seen at the 5th and 7th articles, respectively.

**Keywords** : Antenna, Millipede, *Oxidus gracilis*, Sensilla

#### 서 론

노래기들은 전 세계적으로 1만여 종이 보고되고 있

으며 (Hopkins & Read, 1992), 가장 큰 분류군의 띠노래기목은 머리와 20개의 몸마디로 이루어져 있다 (Marek & Bond, 2006). 안테나는 머리 뒷부분에 한 쌍이 부착되어 있으며. 안테나 표면에는 발달된 감각기

\* Correspondence should be addressed to Myung-Jin Moon, Department of Biological Sciences & Institute of Basic Science, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea. Ph.: (041) 550-3445, Fax: (041) 550-3409, E-mail: moonmj@dankook.ac.kr

와 감각구멍들을 가지고 있다(Enghoff et al., 1993). 안테나는 먹이나 천적을 탐색하고, 번식 시기 동안에는 배우자를 찾는 역할을 수행하며, 종과 성별에 따라 서로 다른 모양을 가지고 있다(Hopkins & Read, 1992; Nguyen Duy-Jacquemin, 1997; Diehl et al., 2003).

띠노래기목의 안테나는 다양한 형태를 가지고 있으며, 안테나에 분포된 감각기와 감각모도 매우 다양한 형태를 가지고 있다. 실모양, 곤봉모양 등, 다양한 구조가 보고되고 있으며, 안테나 제5, 6, 7 마디에 분포하고 있는 감각모와 감각구멍 등도 종에 따라 차이가 많은 것으로 보고되었다(Hopkins & Read, 1992; Enghoff et al., 1993). 노래기 안테나의 기능은 일반적으로 많이 알려져 있는 곤충들의 것과 기능상 매우 유사하며, 안테나에 분포된 감각기의 형태와 분포도 유사한 것으로 알려져 있다(Nguyen Duy-Jacquemin, 1997; Anton et al., 2003; Diehl et al., 2003).

본 실험에 사용된 고운까막노래기는 띠노래기목 무당노래기과의 일종으로서, 국내의 전 지역에 걸쳐 고루 분포하는 종류로 알려져 있다(Enghoff et al., 1993). 본 연구는 안테나의 표면에 분포된 감각기와 감각모의 종류와 형태를 고배율의 주사전자현미경으로 해상하여 분석하고, 이를 통해 무당노래기 안테나 감각모의 미세구조적 특성을 밝히는데 그 목적이 있다. 이를 통해, 이미 보고된 자료들과 비교하여 무당노래기과의 공통적인 특성을 규명하고자 본 연구를 시행하였다.

## 재료 및 방법

절지동물문 노래기강 띠노래기목 무당노래기과에 속하는 고운까막노래기(*Oxidus gracilis*) 성체를 부산광역시 진해시 일대에서 채집하여 실험실(25±5°C)로 옮겨 사육조 속에서 안정화시킨 후, 계대 사육하며 실험에 사용하였다. 건강한 암수 성체를 선별하여 이산화탄소로 마취시킨 후 희생시켜 실험시료로 사용하였다. 표면에 부착된 이물질 제거를 위하여 단백질 용해제가 포함된 세척액(Bausch & Lomb Co., USA)과 70% 알코올을 사용하여 Branson 1200 초음파발생기(Branson Co., USA)로 세척하였다.

표면 세척이 끝난 시료는 안테나 외부의 형태 변형

을 막고 고유한 형태를 유지하기 위하여 5% glutaraldehyde(0.1 mole/L phosphate buffer, pH 7.4)로 고정된 후, 완충용액(4°C, 0.1 mole/L phosphate buffer, pH 7.4)으로 3회 수세하였다. 수세된 시료는 1% osmium tetroxide 용액(4°C, 0.1 mole/L phosphate buffer, pH 7.4)으로 후고정한 후, 동일 완충용액을 사용하여 충분히 세척하였다.

고정이 끝난 시료는 에틸알코올 농도 상승 순(30, 50, 70, 90, 95, 100%)으로 처리하여 탈수하였으며, 탈수된 시료들은 hexamethyldisilazane (HMDS) 용액으로 처리한 다음, 자연건조 처리하였다. 준비된 시료들은 Hitachi E-1030 sputter coater (Hitachi Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 약 20 nm 두께로 백금 도금한 후 Hitachi-4300 field-emission 주사전자현미경 (Hitachi Co., Tokyo, Japan)으로 10~20 kV의 가속전압에서 관찰하였으며, 촬영된 이미지들은 디지털 파일의 형태로 화상 처리한 후 분석에 사용하였다.

## 결 과

고운까막노래기 안테나의 길이는 수컷의 경우 평균 2.4 mm이었으며, 안테나의 기본구조는 암수 동일하게 8개의 마디로 이루어져 있었고, 기부로부터 차례로 줄

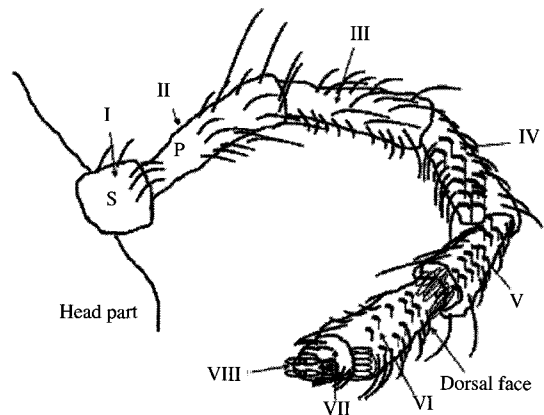


Fig. 1. The antennal segment of the millipede *Oxidus gracilis* is composed of 8 segments—a scape (S), a pedicel (P) and 6 flagellomeres (III~VI).

기마디와 자루마디, 그리고 6개의 채찍마디로 구성되어 있었다(Fig. 1). 안테나 표면에는 수많은 감각모들이 관찰되었는데, 그 형태적 및 미세구조적 특성에 따라, 원추말단 감각기, 모상 감각모, 관상 감각모, 추상 감각모 등으로 구분되었다(Fig. 2A~F).

모상 감각모는 제8 마디를 제외한 안테나 마디의 전 표면에서 관찰되며 수컷의 경우, 길이가 20~80  $\mu\text{m}$ 으로 개체에 따라 변이 폭이 큰 것으로 관찰되었다. 그 형태적 특성은 휘어진 낫 모양으로 기저부에서 말단부로 갈수록 끝이 날카로워지는 구조를 가지고 있었다. 모상 감각모는 관상 감각모보다 평균적인 길이가 짧았으며, 제5 마디에서 제7 마디에 집중되어 분포하는 것으로 관찰되었다(Fig. 2A~D).

관상 감각모는 제8 마디를 제외한 안테나 마디의 전체 표면에서 관찰되며, 길이는 10~160  $\mu\text{m}$ 로 분포하는 위치에 따라 길이의 편차가 심한 것으로 관찰되었다. 관상 감각모는 휘어짐 없이 곧 바로 뺨은 형태를 유지하고 있으며 끝 부분은 부드럽게 마무리 되어 있었다. 감각모 표면에는 길이 방향으로 만들어진 긴 세로 홈이 확인되었다(Fig. 2E).

제5 마디에서 제7 마디의 큐티클 함몰 부위에는 3 종류의 추상 감각모가 분포하고 있었다. 제5 마디 큐티클 함몰 부위에는 제1형 추상 감각모( $B_{S1}$ )와 제2형 추상 감각모( $B_{S2}$ )가 분포하며, 제1형 추상 감각모의 평균 길이는 42  $\mu\text{m}$ 이었으며, 함몰부 전체에 걸쳐 평균 21개의 추상 감각모들이 형성되어 있었다. 반면, 제2형 추상 감각모의 평균 길이는 10  $\mu\text{m}$ 이었으며, 평균 40개 정도가 함몰부에 형성되어 있었다. 제5 마디에 분포하고 있는 제1형 추상 감각모와 제2형 추상 감각모는 일정한 간격으로 기능적 패턴을 이루며 분포하고 있음이 관찰되었다(Figs. 2F, 3A~B).

안테나 제6 마디의 큐티클 함몰부에 분포하고 있는 제2형 추상 감각모의 길이는 평균 22  $\mu\text{m}$ 이며, 평균적으로 40개의 감각모들이 함몰부에서 관찰되었다. 특히하게 제6 마디에는 제2형 추상 감각모만이 일정 간격으로 분포되어 있었으며, 다른 유형의 추상 감각모들은 관찰되지 않았다(Fig. 3C).

또한, 안테나 제7 마디의 큐티클 함몰 부위에서는 가시모양의 제3형 추상 감각모( $B_{S3}$ )가 확인되었다. 평균 길이가 10  $\mu\text{m}$  정도인 추상 감각모들이 약 15개 정

도 밀집 분포함이 관찰되었다(Fig. 3D~F). 감각구멍(sensory pores)은 제7 마디의 큐티클 함몰부위에 형성된 제3형 추상 감각모의 기저부 주위에 1~2개씩이 분포함을 확인할 수 있었다(Fig. 3F).

한편, 제8 마디에는 대형의 원추말단 감각기가 암수 모두 4개씩 형성되어 있었으며, 그 형태는 솔방울 모양과 유사한 것으로 관찰되었다. 원추말단 감각기의 평균적인 크기는 개체의 성숙도에 따라 다양하지만, 수컷의 경우 평균 길이는 38  $\mu\text{m}$ 에 달했고, 기부의 지름은 평균 18  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다. 감각기의 표면에는 길이 방향으로 형성된 긴 주름이 관찰되었으며, 원추말단 감각기의 끝 부분에는 지름 약 2  $\mu\text{m}$ 인 구멍이 하나씩 형성되어 있었다(Fig. 3G~H).

## 고 찰

노래기 안테나는 다양한 형태와 기능을 가지고 있으며, 곤충들과도 유사한 형태를 가지고 있다(Hinterwirth et al., 2004; Hummel et al., 2006). 다지류인 노래기의 안테나는 보통 8개의 마디로 이루어져 있으며(Nguyen Duy-Jacquemin, 1997; Marek & Bond, 2006), 본 실험에 사용된 고운까막노래기의 안테나도 줄기마디(scape)와 자루마디(pedicel), 그리고 6개의 채찍마디(flagellomere)로 구성된 총 8개의 마디로 이루어져 있음이 확인되었다.

안테나 형태와 감각모(sensilla)는 곤충들의 생태와 분포하는 위치에 따라 종류와 구조가 다양하게 관찰되고 있다(Shanbhag et al., 1999; Renthal et al., 2003; Saïd et al., 2003; Sukontason et al., 2004; Albuquerque & Linardi 2006). 특히, 다양하게 서식하고 있는 생태와 습성에 밀접한 관련성을 가지고 있으며, 절지동물의 노래기 안테나의 형태와 분포하고 있는 감각모 역시 다양하게 보고되고 있다(Faucheux, 1991; Nguyen Duy-Jacquemin, 1997; Sukontason et al., 2004).

띠노래기목 무당노래기과의 안테나는 제8 마디로 이루어져 있으며, 안테나 전체에 분포하고 있는 감각모의 종류는 종에 따라 약간씩의 변이가 있는 것으로 보고되었다(Hopkins & Read, 1992). 본 실험에 사용된 고운까막노래기의 경우, 안테나 마디가 모두 8개로 구

성되어 있었으며, 기본적으로 1종류의 감각기와 3종류의 감각모가 관찰되었다. 이러한 기본구조는 황주까막노래기와 평안노래기 안테나에서 보고된 결과와 유사하였는데 (Chung & Moon, 2006a, b, 2007), 원추말단 감각기는 제8 마디에 나타나며, 노래기에서만 관찰되는 독특한 감각기인 것으로 보고된 바 있다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1983).

고운까막노래기에서 나타나는 감각모는 모상 감각모 (chaetiform sensilla), 관상 감각모 (trichoid sensilla), 추상 감각모 (basiconic sensilla)의 3종류이며, 이들 감각모들은 대부분의 노래기 종류에서 공통적으로 확인되는 기본적인 감각모인 것으로 확인되었다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1983, 1997; Chung & Moon, 2006a, b, 2007).

또한, 종과 성별에 따라 분포하는 감각모의 위치와 수적인 차이가 관찰되었는데, 특히 모상 감각모와 관상 감각모의 두 종류는 공통적으로 말단 마디를 제외한 안테나 전 표면에 분포하고 있었으며, 그 형태적 특성은 곤충류의 것과 유사하였지만, 분포하는 위치나 크기 그리고 수적인 차이가 존재하는 것으로 확인되었다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1983; Faucheux, 1991; Sukontason et al., 2004). 곤충류의 경우 번식과 섭식에 따라 변형된 모상 감각모들이 다양하게 보고되고 있으며 (Jez & McIver, 1979), 안테나에 분포하고 있는 모상 감각모는 화학물질을 감지하는 후각과 미각의 기능을 담당하는 것으로 보고된 바 있다 (Hurd, 2004; Ansebo et al., 2005).

모상 감각모는 휘어진 낫 모양으로 기저부에서 말단부로 갈수록 끝이 날카로워지는 구조를 가지고 있었는데, 제5 마디에서 제7 마디에 집중적으로 분포되어 있음이 관찰되었다. 이는 띠노래기목의 황주까막노래기나 평안노래기 (Chung & Moon, 2006a, b, 2007), 그리고 털노래기목이나 계림갈퀴노래기목 등에서 보고된 것 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1974, 1983, 1997; Fontanetti & Camargo-Mathias, 2004)과 별다른 미세구조적 차이를 보이지 않는 것으로 확인되었다.

관상 감각모는 곤충류인 나비목에서 번식기 동안 페로몬을 감지하거나 숙주 식물을 찾는 후각의 기능을 가진 것으로 보고되었는데 (Anderson et al., 2000; Ansebo et al., 2005), 별 종류에서 관찰된 관상 감각모

의 표면에서는 길이 방향의 주름이 보고된 바 있다 (Ochieng et al., 2000). 고운까막노래기의 경우 관상 감각모의 분포나 형태는 모상 감각모의 것과 거의 유사하였으며, 털노래기목이나 계림갈퀴노래기목 등에서 보고된 것과도 그 미세구조적 특성이 유사하였다 (Nguyen Duy-jacquemin, 1974, 1983, 1997).

추상 감각모는 제5, 제6, 제7 마디 원위부의 큐티클 함몰부에서만 관찰되었는데, 곤충류에서도 유사한 형태의 안테나 감각모들이 보고된 바 있다 (Bartlett et al., 1999; Anderson et al., 2000; Lopes et al., 2002; James & Michael, 2003). 일반적으로 노래기목의 추상 감각모는 특정 화학물질이나 온도, 습도 등을 감지하는 감각모로 알려져 있으며 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1974, 1983, 1997; Hopkins & Read, 1992), 곤충류에서도 화학 물질을 감지하거나 미각 및 후각을 감지하는 기능을 가진 것으로 알려져 있다 (Sen & Mitchell, 2001; Ploomi et al., 2003; Sukontason et al., 2004).

원추말단 감각기는 모든 노래기에서 나타나는 특징적인 감각기이며 (Hopkins & Read, 1992; James & Michael, 2003), 접촉을 통한 기계적 감각과 일부의 화학적 감각을 담당하는 것으로 알려져 있다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1974, 1983, 1997). 계림갈퀴노래기목의 경우, 길이가 짧은 13~18개의 원추말단 감각기가 분포하는 것으로 보고되었으나 (Fontanetti & Camargo-Mathias, 2003), 본 실험에 사용된 고운까막노래기의 경우도 성별에 관계없이 제8 마디에 4개씩의 감각기가 형성되어 있었으며, 그 미세구조적 특성도 황주까막노래기나 평안노래기에서 보고된 것 (Chung & Moon, 2006a, b, 2007)과 유사한 것으로 확인되었다.

## 참 고 문 헌

- Albuquerque CV, Linardi PM: Scanning electron microscopy studies of sensilla and other structures of the head of *Polygenis (Polygenis) tripus* (Siphonaptera: Rhopalopsyllidae). *Micron* 37 : 557-565, 2006.
- Altner H, Schaller-Seizer L, Stetter H, Wohlrab I: Poreless sensilla with inflexible sockets. A comparative study of a fundamental type of insect sensilla probably comprising thermo- and hygro-receptors. *Cell Tissue Res* 234 : 279-307, 1983.

- Anderson P, Hallberg E, Subchev M: Morphology of antennal sensilla auricillica and their detection of plant volatiles in the Herald moth, *Scoliopteryx libatrix* L. (Lepidoptera: Noctuidae). *Arthropod Structure & Develop* 29 : 33-41, 2000.
- Ansebo L, Ignell R, Löfqvist J, Hansson BS: Responses to sex pheromone and plant odours by olfactory receptors neurons housed in *sensilla auricilla* of the coding moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *J Insect Physiol* 51 : 1066-1074, 2005.
- Bartlet E, Romani R, Williams IG, Isidoro N: Functional anatomy of sensory structures on the antennae of *Psylliodes chrysocephala* L. (Coleoptera: Chrysomelidae) *Int J Insect Morphol & Embryol* 28 : 291-300, 1999.
- Chung KH, Moon MJ: Fine structure of the antennal sensilla of the millipede, *Orthomorphella pekuensis* (Polydesmida: Paradoxosomatidae). *Entomol Res* 36 : 172-178, 2006a.
- Chung KH, Moon MJ: Antennal sensory organs in the female millipede *Orthomorphella pekuensis* (Polydesmida: Paradoxosomatidae). *Integrative Biosciences* 10 : 183-189, 2006b.
- Chung KH, Moon MJ: Microstructure of the Antennal sensory Organs in the millipede *Cawjeekelia pyongana* (Polydesmida: Paradoxosomatidae). *Kor J Electr Microsc* 37 : 73-82, 2007.
- Diehl PA, Guerenstein VP, Guerin PM: Ultrastructure and receptor cell responses of the antennal grooved peg sensilla of *Triatoma infestans* (Hemiptera: Reduviidae). *Arthropod Structure & Develop* 31 : 271-285, 2003.
- Enghoff H, Dohle W, Blower JG: Anamorphosis in millipedes (Diplopoda) the present state of knowledge with some developmental and phylogenetic considerations. *Zool J Linnean Soc* 109 : 103-234, 1993.
- Faucheux MJ: Morphology and distribution of sensilla on the cephalic appendages, tarsi and ovipositor of the european sunflower moth, *Homoeosoma nebulella* Den. and Schiff. (Lepidoptera: Pyralidae). *Int J Insect Morphol & Embryol* 20 : 291-307, 1991.
- Fontanetti CS, Camargo-mathias MI: External morphology of the antennae of *Rhinocricus padbergi* Verhoeff, 1938 (Diplopoda: Spirobolida). *Braz J Morphol Sci* 21 : 73-79, 2004.
- Hinterwirth A, Zeiner R, Tichy H: Short communication olfactory receptor cells on the cockroach antennae: responses to the direction and rate of change in food odour concentration. *Eur J Neuroscience* 19 : 3389-3392, 2004.
- Hopkins SP, Read HJ: *The Biology of Millipede*, Oxford Univ., New York, 1992.
- Hummel NA, Zalom FG, Peng CYS: Structure of female genitalia of glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca coagulata* (Say) (Hemiptera: Cicadellidae). *Arthropod Structure & Develop* 35 : 111-125, 2006.
- Hurd LE, Rprete F, Jones TH, Singh TB, Co JE, Portman RT: First identification of a putative sex pheromone in a praying mated. *J Chem Ecol* 30 : 155-166, 2004.
- James ML, Michael JS: Litter breakdown by the Seychelles giant millipede and the conservation of soil processes on Cousine Island, Seychelles. *Bio Conservation* 113 : 125-132, 2003.
- Jez DH, McIver SB: Fine Structure of Antennal Sensilla Of Larval *Toxorhynchites brevipapis* Theobald (Diptera: Culiidae). *Int J Insect Morphol & Embryol* 9 : 147-159, 1979.
- Lopes O, Barata EN, Mustaparta H, Araújo J: Fine structure of antennal sensilla basiconica and their detection of plant volatiles in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* Fabricius (Coleoptera: Cerambycidae). *Arthropod Structure & Develop* 31 : 1-13, 2002.
- Marek PE, Bond JE: Phylogenetic systematics of the clorful, cyanide-producing millipedes of *Appalachia* (Polydesmida, Xystodesmidae, Apheloriini) using a total evidence Bayesian approach. *Molecular Phylogenetics & Evolution* 41 : 704-729, 2006.
- Nguyen Duy-Jacquemin M: Fine structure and possible functions of antennal sensilla in *Polyxenus lagurus* (Diplopoda, Penicillate: Polyxenidae). *Ent Scand Suppl* 51 : 167-178, 1997.
- Nguyen Duy-Jacquemin M: Ultrastructure des organes sensoriels de l'antenne de *Polyxenus lagurus* (Diplopode, Pénicillate) III. Les sensilles coeloconiques des 6<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> articles antennaires (1). *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie, Paris 13e série* 5 : 207-220, 1983.
- Nguyen Duy-Jacquemin M: Les organes intracrâniens de *Polyxenus lagurus* et comparaison avec les organes neuraux d'autres diplopodes. *Symp Zool Soc Lond* 32 : 211-216, 1974.
- Ochieng SA, Park KC, Zhu JW, Baker TC: Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Micropplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae). *Arthropod Structure & Develop* 29 : 231-240, 2000.
- Ploomi A, Merivee E, Rahi M, Ravn HP, Luki A, Sammeliselg V: Antennal sensilla in ground beetles (Coleoptera:

Carabidae). Agronomy Res 1 : 221-228, 2003.

Renthal R, Velasquez D, Olmos D, Hampton J, Wergin WP:

Structure and distribution of antennal sensilla of the red imported fire ant. *Micron* 34 : 405-413, 2003.

Said I, Tauban D, Renou M, Mori K, Rochat D: Structure and function of the antennal sensilla of the palm weevil *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *J Insect Physiol* 49 : 857-872, 2003.

Sen A, Mitchell BK: Olfaction in the Colorado potato beetle: Ultrastructure of antennal sensilla in *Leptinotarsa* sp. *J Biosci* 26 : 233-246, 2001.

Shanbhag SR, Müller B, Steinbrecht RA: Atlas of olfactory organs of *Drosophila melanogaster* (1) Types, extral organization, innervation and distribution of olfactory sensilla. *Int J Insect Morphol & Embryol* 28 : 377-397, 1999.

Sukontason K, Sukontason KL, Piangjai S, Boonchu N, Chaiwong T, Ngernklun R, Sripakdee D, Vogtsberger RC, Olson JK: Antennal sensilla of some forensically important flies in families Calliphoridae, Sarcophagidae and Muscidae. *Micron* 35 : 671-679, 2004.

### < 국문초록 >

고운까막노래기 (*Oxidus gracilis*) 안테나 표면에 형성된 감각기관과 감각모의 미세구조적 특성을 규명하기 위하여 주사전자현미경 (FESEM)을 이용하여 관찰하였다. 안테나는 8개의 마디로 이루어져 있었으며, 큐티클의 표면에는 화학적 및 기계적 감각을 담당하는 다양한 종류의 감각기들이 형성되어 있었다. 고운까막노래기 안테나에서는 기본적으로 대형의 원추말단 감각기 (AC)와 3종류의 감각모 - 모상 감각모 (Cs), 관상 감각모 (Ts), 추상 감각모 (Bs) - 가 구분되었다. 원추말단 감각기는 말단마디인 제8 마디에 4개가 형성되어 있었고, 끝이 날카로운 모상 감각모와 관상 감각모는 말단 마디를 제외한 모든 마디에 분포되어 있었다. 추상 감각모는 제5 마디부터 제7 마디까지의 원위 말단부에 형성된 큐티클 함몰부에서만 관찰되는데, 그 미세구조적 특성에 따라 다시 3종류로 구분되었다. 길이가 긴 제1형 (Bs<sub>1</sub>)은 제5 마디에만 분포되어 있었고, 길이가 짧은 제2형 (Bs<sub>2</sub>)은 제5 마디 및 제6 마디에, 그리고 가시 모양의 제3형 (Bs<sub>3</sub>)은 제7 마디에만 분포되어 있음이 확인되었다.

## FIGURE LEGENDS

**Fig. 2.** A~C: The antenna of the male millipede *Oxidus gracilis* has eight distinct articles: a scape (s), a pedicel (P) and 6 flagellomeres. The articles is roughly cylindrical but increase in diameter toward the terminal section. On the 1st to 4th articles, only two types of antennal sensillum, chaetiform and trichoid are found. D~F: On the 5~6th article. Four types of sensillum can be seen: chaetiform (Cs), trichoid (Ts). The trichoid sensilla are straight hairs and the chaetiform sensilla are long, sickle-shaped strong bristles with deep longitudinal grooves. Scale bars: 500  $\mu$ m (A), 100  $\mu$ m (B~C) and 10  $\mu$ m (D~F).

**Fig. 3.** The antenna of the male millipede *Oxidus gracilis*. A~B: On the 5th article. four types of sensillum can be seen. On the 5th articles, two subtypes of basiconic sensilla-large basiconic sensilla (Bs<sub>1</sub>) and small basiconic sensilla (Bs<sub>2</sub>)-can be seen. These two subtypes are scattered within cuticular depressions of this article. C: On the surface of the 6th article, a subtypes of basiconic sensilla (Bs<sub>2</sub>) and both types of chaetiform (Cs) and trichoid sensilla can be seen. D~F: The spiniform basiconic sensilla (Bs<sub>3</sub>) are spine-like sensilla with a smooth surface and a sharp, narrow tip. Around the base of each sensillum, one or two sensory pores (arrow) can be seen. G~H: The 8th article bears four apical cones (AC) distributes in an exact rectangular arrangement. They have several longitudinal grooves along their external surface. Scale bars: 50  $\mu$ m (C~D) and 10  $\mu$ m (A~B, E~H)

