

계림갈퀴노래기 (*Anaulaciulus koreanus koreanus*) 촉각 감각모의 미세구조

정 경 훈, 문 명 진*

단국대학교 첨단과학대학 생명과학과, 기초과학연구소

Microstructure of the Antennal Sensilla in the Millipede *Anaulaciulus koreanus koreanus* (Julida: julidae)

Kyung-Hwun Chung and Myung-Jin Moon*

Department of Biological Sciences & Institute of Basic Science, Dankook University,
Cheonan 330-714, Korea

(Received April 16, 2009; Accepted June 22, 2009)

ABSTRACT

The antennae of millipedes have a prominent function in detecting various types of environmental stimuli, and structural modification of the antennae is closely associated with the degree of sense recognition. 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. We have analysed the ultrastructural characteristics of the antennal sensillae in a millipede *Anaulaciulus koreanus koreanus* using field emission scanning electron microscopy (FESEM). According to their morphological and substructural features, we could identify three different types of antennal sensillae as follows: trichoid sensilla (TS), chaetiform sensilla (CS) and basiconic sensilla (BS). The TS on the articles are long, blunt-tipped, almost straight hairs with deep longitudinal grooves in their lower parts whereas, the CS are long, sickle-shaped bristles with longitudinal grooves acuminate toward the tip. The BS can be subdivided further into three subtypes which are the large-sized basiconic sensilla (BS₁), the small-sized basiconic sensillae (BS₂) and the spiniform basiconic sensillae (BS₃). The BS between the terminal segment and distal margins of the other segments are clearly discriminated in this species.

Keywords : Antenna, Sensilla, Millipede, *Anaulaciulus koreanus koreanus*

서 론

노래기는 절지동물문 다각아문(Myriapoda) 배각강(Diplopoda)에 속하는 동물로서 머리와 몸통으로 구분된다(Marek & Bond, 2006). 노래기의 외부 형태는 원통형에서부터 편평형까지 매우 다양하며, 몸체를 구성하는 마디수도 11개

에서 60개를 가진 경우가 관찰된다. 그리고 부속지도 13쌍에서 100쌍에 이르는 등, 발생단계 및 종에 따라 큰 변이가 관찰된다. 체절구조를 가진 몸통은 원래는 두 개의 체절이 하나로 유착된 것으로 일부를 제외하고는 딱딱한 석회질의 외골격으로 싸여 있으며, 각 마디에 2쌍씩의 부속지가 부착되어 있다(Hopkins & Read, 1992; James & Michael, 2003). 촉각은 머리 뒷부분에 한 쌍이 부착되어 있어 먹이나 천

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

적을 탐색하거나 번식 시기 동안에는 배우자를 찾는 역할을 수행하며, 종과 성별에 따라 다양한 변이를 보인다(Hopkins & Read, 1992; Nguyen Duy-Jacquemin, 1997; Diehl et al., 2003). 촉각의 표면에는 감각기와 감각모, 감각공(sensory pore) 등이 형성되어 있는데, 특히 감각모는 실모양과 곤봉모양 등의 다양한 형태가 보고된 바 있으며, 종에 따라 특이한 종류의 감각기와 감각공도 보고되고 있다(Hopkins & Read, 1992; Enghoff et al., 1993).

절지동물의 촉각 감각모에 대한 연구는 다양한 서식 생태를 지닌 곤충류를 대상으로 심도 깊은 연구들이 이루어졌으며, 노래기 촉각의 기본적인 기능은 곤충의 것과 매우 유사하며, 촉각에 분포된 감각기의 형태와 분포도 유사한 것으로 알려져 있다(Nguyen Duy-Jacquemin, 1997; Diehl et al., 2003). 특히, 야행성 동물인 노래기들은 촉각의 표면에 분화된 감각 수용기들을 가지고 있어서 촉각 감각기가 발달된 생물군으로 보고되고 있다(Fontanetti & Camargo-mathias, 2004; Albuquerque & Linardi, 2006).

본 실험에 사용된 계림갈퀴노래기(*Anaulaciulus koreanus koreanus* Verhoeff)는 각시노래기목(Julida) 갈퀴노래기과(Julidae)의 일종으로, 국내의 전 지역에 걸쳐 고루 분포하고 있는 종으로 알려져 있다(Enghoff et al., 1993). 고배율의 전자현미경 관찰을 통하여 노래기 촉각의 표면에 분포된 감각기와 감각모의 종류와 그 미세구조적 특성을 분석하고, 이 결과를 토대로 이미 보고된 무당노래기과의 자료들과 비교하여 촉각 감각모의 특성을 규명하고자 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

본 실험에 사용한 계림갈퀴노래기(*Anaulaciulus koreanus koreanus* Verhoeff)는 절지동물문 다각아문(Myriapoda) 배각강(Diplopoda) 각시노래기목(Julida) 갈퀴노래기과(Julidae)에 속하는 종류로서(Mikhailjova & Lim, 2000; Mikhailjova & Korsós, 2003) 전라북도 익산시 일대에서 채집하여 실험실(25±5°C)로 옮겨 사육조 속에서 안정화시킨 후 실험 재료로 사용하였다. 건강한 암수 성체를 선별하여 이산화탄소로 마취시킨 후 실험시료로 사용하였다. 표면에 부착된 많은 이물질을 제거하기 위하여 단백질 용해제와 70% 알코올을 사용하여 초음파세척기(Bransonic 1200, Branson, USA)로 세척하였다.

표면 세척이 끝난 시료는 촉각 외부의 형태 변형을 방지하고 원래의 고유한 형태를 유지하기 위하여 5% glutaraldehyde (0.1 mole/L phosphate buffer, pH 7.4)로 전고정(prefixation)하고, 완충용액(4°C, 0.1 mole/L phosphate buffer, pH 7.4)으로 3회 수세한 후, 1% osmium tetroxide 용액(4°C, 0.1

mole/L phosphate buffer, pH 7.4)으로 후고정(postfixation)하였다.

동일 완충용액을 사용하여 3회 이상 충분히 세척한 시료는 에틸알코올 농도 상승 순으로 처리하여 탈수하였으며, 탈수된 시료들은 hexamethyldisilazane (HMDS) 용액으로 처리한 다음, 자연 상태에서 건조시켰다. 준비된 시료들은 sputter coater (E-1030, Hitachi, Japan)를 사용하여 약 20 nm 두께로 백금 도금한 후, Hitachi-4300 주사전자현미경(Hitachi, Tokyo, Japan)으로 10~20 kV의 가속전압에서 관찰하였으며, 촬영된 이미지들은 디지털 파일의 형태로 화상 처리하였다.

결 과

계림갈퀴노래기 촉각의 기본 구조는 모두 8개의 마디로 이루어져 있었고, 촉각의 전체 마디는 기부에서부터 차례로, 첫째마디인 자루마디(병절, scape)와 둘째마디인 곧은마디(경절, pedicel), 그리고 나머지 6개의 채찍마디(편절, flagellomere)로 구분되었다(Fig. 1A). 촉각 전체의 길이는 암수 성체에서 평균 2.0 mm로 측정되었으며, 촉각을 구성하는 8개의 마디들은 긴 원통형으로 근위부에 비해 원위부의 지름이 큰, 역상의 구조를 취하고 있음이 관찰되었다(Fig. 1B).

촉각 표면에는 많은 감각모와 감각기들이 분포되어 있었는데, 감각모는 그 형태와 미세구조적 특성에 따라 관상 감각모(trichoid sensilla), 모상 감각모(chaeatiform sensilla), 추상 감각모(basiconic sensilla) 등 3종류가 확인되었다. 이들 감각모의 분포는 촉각의 마디에 따라 다양하지만, 제5마디부터 제7마디까지의 세 마디에서만 모든 종류의 감각모를 관찰할 수 있었고, 제1마디부터 제4마디에서는 관상 감각모와 모상 감각모의 두 종류만이 분포되어 있음이 관찰되었다. 그리고 특수하게 분화된 대형 원추감각기(apical sensory cone)는 말단부인 제8마디에 모두 4개가 돌출되어 있음이 관찰되었다(Fig. 1C).

관상 감각모와 모상 감각모는 촉각 제1마디부터 제7마디까지의 전체 표면부에서 관찰되며, 촉각에 분포된 감각모의 길이는 각각 20~180 μm 및 10~40 μm로 개체나 발생단계에 따른 변이의 폭이 상당하였다. 관상 감각모는 직선으로 뻗어 끝이 부드럽게 마무리되어 있으며, 고배율의 주사전자현미경 관찰시 감각모의 기저부에서 길이 방향을 따라 긴 세로 홈이 관찰되었다. 반면, 모상 감각모는 관상 감각모에 비해 길이가 짧고, 보다 밀집된 형태로 제5마디에서 제7마디에 집중 분포함이 관찰되었다. 모상 감각모의 외부 형태적 특징은 전체적으로 휘어진 구조로 근위부에서 원위부 쪽으로 갈수록 끝이 날카로워지는 구조를 가지고 있었으며, 감각모의 길이 방향을 따라 형성된 세로 홈도 관찰되었

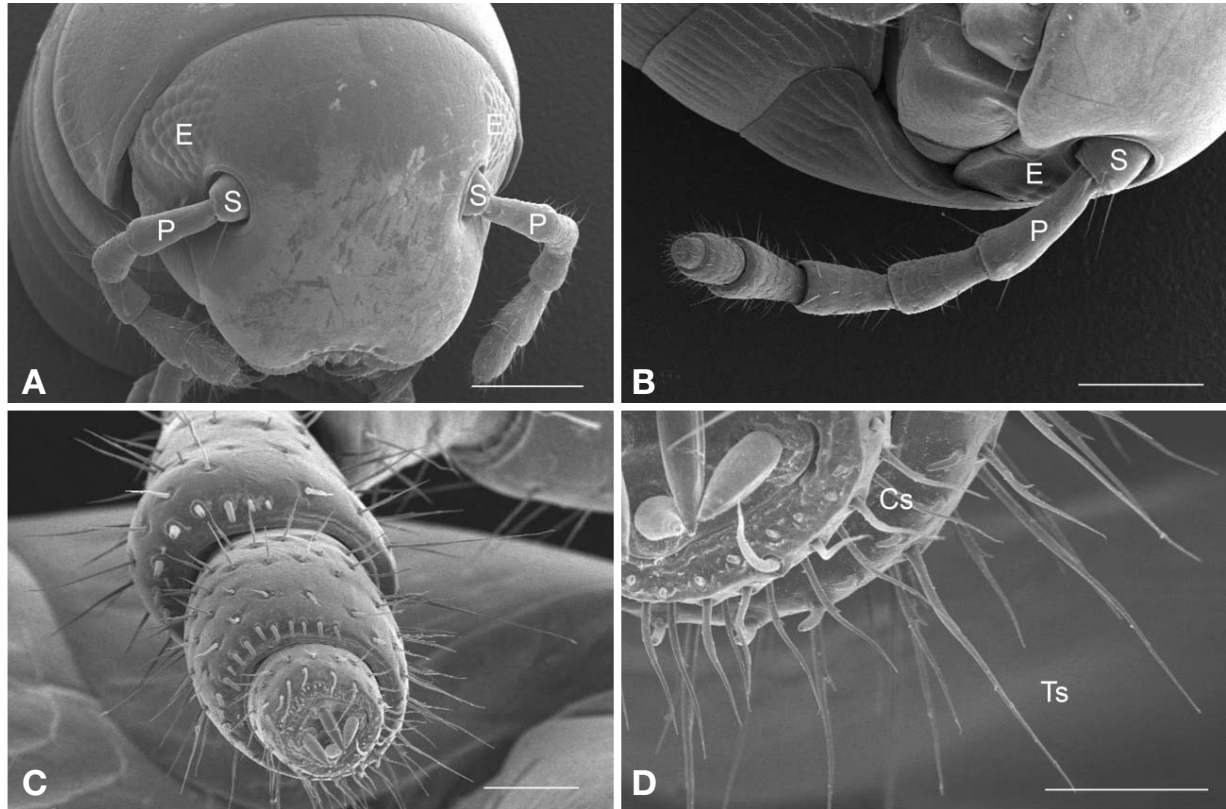


Fig. 1. Scanning electron micrographs of the antennae of the millipede *A. koreanus koreanus*. (A-B) The antenna of the millipede has eight distinct articles: a scape (S), a pedicel (P) and six flagellomeres. (C-D) On the 3rd to 8th articles, four subtypes of sensillum can be seen. Trichoid sensilla (TS) are straight hairs and the chaetiform sensilla (CS) are long, sickle-shaped strong bristles with deep longitudinal grooves. E: eye. Scale bars: 500 μ m (A-B), 100 μ m (C) and 50 μ m (D), respectively.

다 (Fig. 1D).

추상 감각모는 길이가 짧은 손가락 모양의 수직 돌기로 그 표면이 매끈하고 끝 부분은 부드럽고 완만한 곡면을 형성하고 있었다. 계림갈퀴노래기 촉각의 추상감각모는 제5마디부터 제7마디까지의 세 마디에서만 분포하였고, 그 형태적 및 미세구조적 특징에 따라 길이가 긴 제1형 (BS₁)과 길이가 짧은 제2형 (BS₂), 그리고 가지 모양의 제3형 (BS₃) 추상 감각모 등으로 세분되었다. 이들 세 종류의 추상 감각모들은 촉각의 제5마디부터 제7마디의 배면 원위부에 형성된 큐티클 함몰부에 한정적으로 분포되어 있었는데, BS₁은 제5마디에만 분포하였고, BS₂는 제6마디에, 그리고 BS₃는 제7마디 말단의 함몰부에서 관찰되었다 (Fig. 2A).

BS₁은 촉각 제5마디의 큐티클 함몰부에서만 관찰되는 길이 29~38 μ m의 추상 감각모로, 다른 종류의 추상 감각모에 비해 길이가 가장 길었지만, 형성된 감각모의 개수는 평균 12개로 가장 적었으며, 손가락 모양의 돌기 표면은 매끈하였고 끝 부분은 부드럽고 완만한 곡면을 형성하고 있었다 (Fig. 2B). 반면, BS₂는 제6마디의 말단부에 형성된 큐티클 함몰부에서 평균 21개 관찰되었으며, 길이는 18~25 μ m

로 BS₁에 비해 길이가 짧았으나, 기부의 지름은 평균 3 μ m로 BS₁과 동일하였다 (Fig. 2C). 또한 이들은 큐티클 함몰부 전역에 걸쳐 촘촘하게 밀집된 규칙적 배열을 이루고 있어, 다른 마디의 추상 감각모와 구분되었다. 특히 각 감각모가 위치한 함몰부의 큐티클 표면에는 감각모당 1~2개씩의 미세한 구멍이 관찰되었으며, 주변에는 관상 및 모상 감각모들이 분포되어 있었다 (Fig. 2D).

한편, 촉각 제7마디의 말단부에 형성된 큐티클 함몰부의 크기는 제5, 제6마디에 비해 작지만, 평균 42개의 BS₃가 분포되어 있었다 (Fig. 3A). 제3형 추상 감각모의 기부 지름은 평균 3 μ m로 동일하였으나, 길이가 평균 7~11 μ m로 제1, 제2형에 비해 매우 짧고, 끝이 매우 날카로운 가지 모양으로 관찰되었다. 이들 감각모가 위치한 큐티클 함몰부의 표면에서는 많은 구멍들이 형성되어 있었고, 특히 감각모의 기부에서도 1~2개씩의 구멍들이 관찰되었다 (Fig. 3B).

계림갈퀴노래기의 촉각의 끝 부분인 제8마디는 매우 짧아, 제7마디 속으로 깊이 함몰된 구조를 형성하고 있었다. 제8마디의 말단부에는 특이적인 4개의 말단 원추 감각기 (apical sensory cone)가 정방향으로 배열되어 있음이 확인되

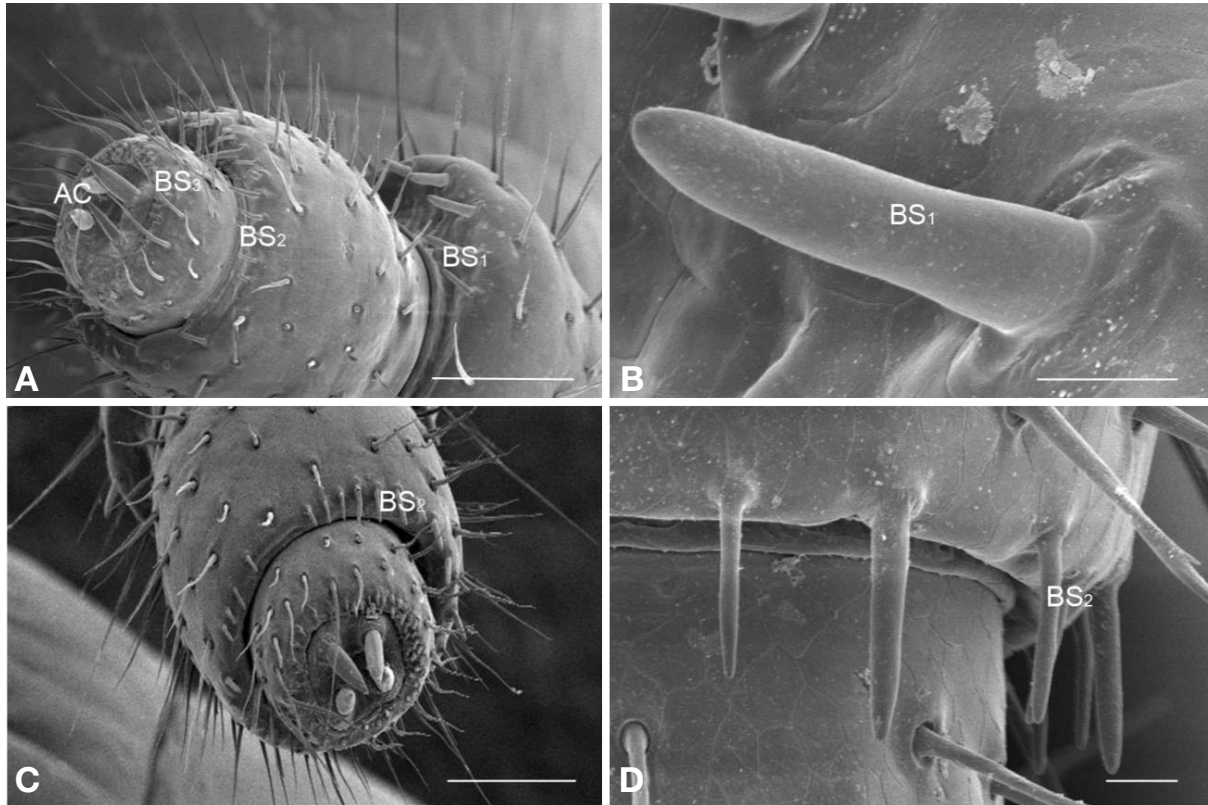


Fig. 2. Scanning electron micrographs of the antenna of the millipede *A. koreanus koreanus*. (A-B) On the surface of the 5rd to 8th article, three subtypes of basiconic sensilla can be seen. Among them, large basiconic sensilla (BS_1) are distributed on the 5th article, and they commonly have a straight, finger-like appearance. (C-D) On the surface of the 6th article, small basiconic sensilla (BS_2) can be seen with both of the trichoid sensilla (TS) and chaetiforms (CS). Scale bars indicate 50 μm (A, C) and 10 μm (B, D), respectively.

었다(Fig. 3C). 이들 감각기는 평안노래기 촉각에 형성된 감각기 중에서 가장 대형의 감각기로서 발생단계나 성별과는 무관하게 모든 개체에서 관찰되었다. 말단원추 감각기는 솔방울과 유사한 모양이었고, 끝이 뾰족한 말단부 중앙에는 각각 하나씩의 구멍이 형성되어 있었으며, 표면은 거칠고 많은 주름이 형성되어 있었다(Fig. 3D).

고 찰

절지동물의 촉각은 주로 기계적 및 화학적 자극을 감지하는 기관으로 두부의 부속지가 변형된 것이다. 지네 노래기를 포함한 다지류와 곤충류는 한 쌍, 게나 새우 등의 갑각류는 두 쌍의 촉각을 가지고 있는 반면, 투구게와 같은 검미류나 거미류 등은 무각류로서 촉각이 없는 것으로 알려져 있다. 이들 절지동물의 촉각은 서식 환경이나 생리적 차이에 따라 다양한 형태와 기능들이 보고되고 있다(Albert & Seabrook, 1973; Wirth & Navai, 1978; George & Nagy, 1984; Saïd et al., 2003; Hinterwirth et al., 2004; Hummel et al.,

2006).

촉각의 기본구조는 곤충류의 경우, 병절(자루마디)과 경절(곧은마디), 그리고 편절(채찍마디) 등으로 구분되는데(Lavoie & McNeil, 1987; Lopes et al., 2002), 계림갈퀴노래기의 촉각도 8개의 마디로 이루어져 있었고 기부로부터 병절(scape)과 경절(pedicel), 그리고 6개의 편절(flagellomere)로 구분할 수 있었다. 이는 다른 종류의 노래기에서 보고된 결과들(Nguyen Duy-Jacquemin, 1974, 1983, 1997; Diehl et al., 2003; Chung & Moon, 2006a, b; Marek & Bond, 2006)과 동일한 것으로 다지류 촉각의 공통적인 특징인 것으로 사료된다.

야행성 동물로 알려진 노래기에서 시각을 담당하는 눈이 퇴화되었고 촉각을 통해 외부 환경을 감지하기 때문에 촉각의 표면에는 다양한 종류의 감각기와 감각모들이 분포되어 있다(Shanbhag et al., 1999; Saïd et al., 2003; Sukontason et al., 2004; Albuquerque & Linardi, 2006). 본 실험에 사용된 계림갈퀴노래기의 촉각에서도 4개의 대형 감각기와 3 종류의 감각모가 관찰되었다. 이는 띠노래기목의 황주까막노래기나 평안노래기 촉각에서 보고된 결과(Chung & Moon,

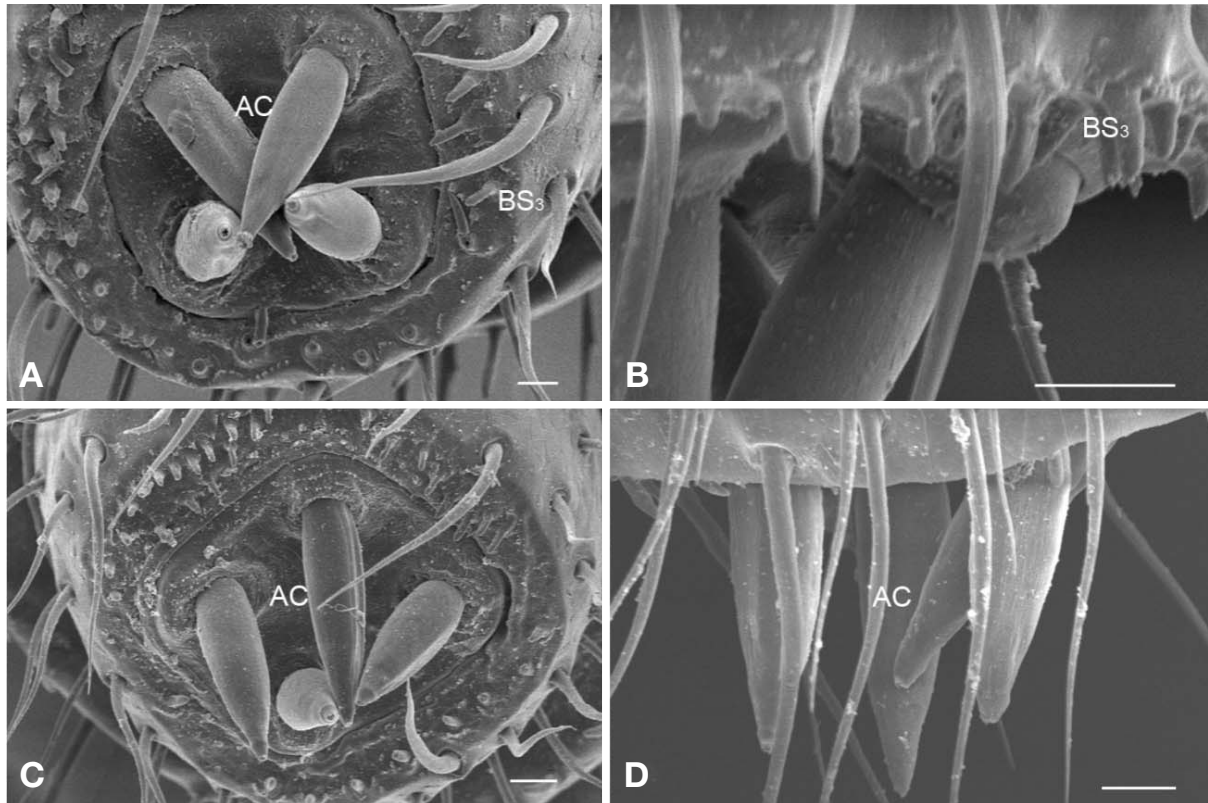


Fig. 3. Scanning electron micrographs of the antenna of the millipede *A. koreanus koreanus*. (A-B) The spiniform basiconic sensilla (BS_3) are spine-like sensilla with a smooth surface and a sharp, narrow tip. They are scattered on the surface of the 7th article. (C-D) The 8th article bears four cone-shaped apical sensilla (AC) distributed in an exact rectangular arrangement. The apical cones on this article are the largest sensilla, and they have several longitudinal grooves along their external surface. Each sensillum has an apical pore (arrow) at the pointed end. All Scale bars indicate 10 μ m.

2006a, b, 2007)와 거의 유사한 것으로 노래기류 촉각의 기본 패턴인 것으로 판단된다.

특히, 제8마디의 끝에 형성된 말단원추 감각기는 노래기 종류의 촉각에서만 관찰되는 독특한 감각기이며 (Hopkins & Read, 1992; James & Michael, 2003), 접촉을 통한 기계적 감각과 일부의 화학적 감각을 담당하는 것으로 알려져 있다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1974, 1983, 1997). 본 실험에 사용된 계림갈퀴노래기의 경우도 성별에 관계없이 제8마디에 4개씩의 말단원추 감각기가 형성되어 있었으며, 그 미세구조적 특성도 띠노래기목의 황주까막노래기 (Chung & Moon, 2006a, b)나 평안노래기 (Chung & Moon, 2007) 등에서 보고된 결과와 유사함이 확인되었다.

한편, 촉각의 표면에 돌출된 감각모는 그 형태적 및 미세구조적 특징에 따라 모상 감각모 (chaetiform sensilla), 관상 감각모 (trichoid sensilla), 추상 감각모 (basiconic sensilla) 등의 3 종류가 구분되었는데, 이들 감각모들은 대부분의 노래기에서 관찰되는 기본적인 종류임이 확인되었다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1983, 1997; Chung & Moon, 2006a, b, 2007). 특히, 모상 감각모와 관상 감각모는 말단 마디를 제외한 촉

각의 전체 표면에 광범위하게 분포된 대표적인 감각모로, 그 형태적 특성은 곤충류의 것과 유사하였지만 (Altner et al., 1983; Fauchaux, 1991; Fontanetti & Camargo-mathias, 2004; Sukontason et al., 2004; Albuquerque & Linardi, 2006), 분포된 위치에 따라 크기가 다르고 약간의 미세구조적 차이가 있는 것으로 관찰되었다.

계림갈퀴노래기의 모상 감각모는 전체적으로 휘어진 모양으로, 기저부에서 말단부로 갈수록 두께가 얇아져 끝 부분은 매우 날카로운 구조를 형성하고 있었는데, 이는 띠노래기목의 황주까막노래기나 평안노래기 (Chung & Moon, 2006a, b, 2007), 그리고 털노래기목 등의 다른 종류에서 보고된 결과 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1974, 1983, 1997; Fontanetti & Camargo-Mathias, 2004)와 별다른 미세구조적 차이를 보이지 않는 것으로 확인되었다. 곤충류에서도 섭식이나 서식생태에 따라 다양한 형태의 모상 감각모들이 보고되고 있으며 (Jez & McIver, 1979; Hurd, 2004; Ansebo et al., 2005), 노래기 종류에서의 주된 기능은 접촉성 자극을 수용하는 기계적 감각수용기일 것으로 추정되고 있다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1974; Chung & Moon, 2006a,b).

관상 감각모는 곤충류인 나비목에서 번식기 동안 페로몬을 감지하거나 숙주 식물을 찾는 후각의 기능을 가진 것으로 보고되었는데 (Anderson et al., 2000; Ansebo et al., 2005), 벌 종류에서 관찰된 관상 감각모의 표면에서는 길이 방향의 주름이 보고된 바 있다 (Ochieng et al., 2000). 계림갈퀴노래기에서 관찰된 관상 감각모의 형태적 특징도 직선으로 뻗어 끝이 부드럽게 마무리되어 있고, 고배율의 주사전자현미경 관찰시 감각모의 기저부에서 길이 방향을 따라 세로 홈이 관찰되는 등, 곤충류나 띠노래기목의 황주까막노래기 (Chung & Moon, 2006a, b)나 평안노래기 (Chung & Moon, 2007), 털노래기목 (Nguyen Duy-jacquenmin, 1974, 1983, 1997) 등에서 관찰된 결과와 유사하였다.

추상 감각모는 제5, 제6, 제7마디 원위부의 큐티클 함몰부에서만 관찰되었고, 형태적 및 미세구조적 특징에 따라 다시 3 종류가 구분되었다. 일반적으로 노래기목의 추상 감각모는 특정 화학물질이나 온도, 습도 등을 감지하는 감각모로 알려져 있다 (Nguyen Duy-Jacquemin, 1974, 1983, 1997; Hopkins & Read, 1992). 곤충류에서도 유사한 형태의 감각모들이 보고되고 있으며 (Bartlet et al., 1999; Anderson et al., 2000; Lopes et al., 2002; James & Michael, 2003), 화학물질을 감지하거나 미각 및 후각을 감지하는 기능을 가진 것으로 알려져 있다 (Sen & Mitchell, 2001; Ploomi et al., 2003; Sukontason et al., 2004). 미세구조적인 측면에서 계림갈퀴노래기의 추상 감각모는 띠노래기목의 황주까막노래기나 평안노래기 등에서 관찰된 것 (Chung & Moon, 2006a, b, 2007)과 특이한 차이점이 발견되지 않았지만, 마디별로 분포된 패턴이나 감각모의 수 등에서는 현저한 차이가 관찰되어 종간의 특성을 파악할 수 있는 형질로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- Albert PJ, Seabrook D: Morphology and histology of the antenna of the male eastern spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Can J Zool* 4 : 443-448, 1973.
- 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, Wohrlab I: Poreless sensilla with inflexible sockets. A comparative study of a fundamental type of insect sensilla probably comprising thermo- and hygroreceptors. *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 & Development* 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 codling 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). *Korean J Microscopy* 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 & Development* 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.
- George JA, Nagy BAL (1984) Morphology, distribution, and ultrastructural differences of sensilla trichodea and basiconica on the antennae of the oriental fruit moth, *Grapholitha molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae). *Int J Insect Morphol Embryol* 13 : 157-170.
- 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. *European 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 & Development* 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: Culicidae). *Int J Insect Morphol & Embryol* 9 : 147-159, 1979.
- Lavoie DJ, McNeil JN (1987) Sensilla of the antennal flagellum in *Pseudaletia unipuncta* (Haw.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Int J Insect Morphol Embryol* 16 : 153-167.
- 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 & Development* 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.
- Mikhaljova EV, Korsós Z: Millipedes (Diplopoda) from Korea, the Russian far east, and China in the collection of the Hungarian natural history museum. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 49 : 215-242, 2003.
- Mikhaljova EV, Lim KY: Millipede fauna (Diplopoda) of South Korea. *Korean J Syst Zool* 16 : 147-157, 2000.
- Nguyen Duy-Jacquemin M: Les organes intracérébraux de *Polyxenus lagurus* et comparaison avec les organes neuraux d'autres diplopedes. *Symp Zool Soc Lond* 32 : 211-216, 1974.
- Nguyen Duy-Jacquemin M: Ultrastructure des organes sensoriels de l'antenne de *Polyxenus lagurus* (Diplopode, Pénicillate) III. Les sensilles coeloconiques des 6^e et 7^e articles antennaires (1). *Annales des Sciences Naturelles, Zoologie, Paris 13e série* 5 : 207-220, 1983.
- 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.
- Ochieng SA, Park KC, Zhu JW, Baker TC: Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae). *Arthropod Structure & Development* 29 : 231-240, 2000.
- Ploomi A, Merivee E, Rahi M, Ravn HP, Luki A, Sammelselg V: Antennal sensilla in ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Agronomy Res* 1 : 221-228, 2003.
- Saïd 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, extrenal 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, Ngernkun 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.
- Wirth WW, Navai S: Terminology of some antennal sensory organs of *Culicoides* biting midges (Diptera: Ceratopogonidae). *J Med Entomol* 15 : 43-49, 1978.

< 국문 초록 >

노래기는 눈의 기능이 퇴화된 야행성 동물로서, 외부 환경으로부터 오는 자극을 감지하는 발달된 촉각을 가진 대표적인 절지동물이다. 계림갈퀴노래기 촉각의 미세구조를 주사전자현미경을 이용하여 분석한 결과, 대형의 말단원추 감각기 (AP) 4개와 모상 감각모 (CS), 관상 감각모 (TS), 추상 감각모 (BS) 등 3종류의 감각모가 구분되었다. 기계적 자극을 수용하는 모상 감각모와 관상 감각모는 말단 마디를 제외한 모든 마디에 고루 분포되어 있었고, 화학적 자극을 수용하는 추상 감각모는 제5마디부터 제7마디까지의 원위 말단부에 형성된 큐티클 함몰부에서만 특이적으로 관찰되었다. 추상 감각모는 미세구조적 특징에 따라 다시 3종류가 구분되었는데, 길이가 긴 제1형 (BS₁)은 제5마디에 분포되어 있었고, 길이가 짧은 제2형 (BS₂)은 제6마디에, 그리고 가시 모양의 제3형 (BS₃)은 제7마디에만 분포되어 있음이 확인되었다. 특히, 노래기 종류에 따라 촉각에 분포된 추상 감각모의 개수와 분포 양상 등은 종간의 차이가 현저하여 분류학적 형질로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.