

콜레마니진디벌(*Aphidius colemani*) 촉각에 분포하는 감각기의 종류 및 외부미세구조적 특징

권혜리 · 윤규식 · 강민아 · 박민우 · 조신혁 · 강은진 · 서미자 · 유용만 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Types and Ultrastructural Characteristics of Antennal Sensilla on *Aphidius colemani* (Hymenoptera: Braconidae)

Hye Ri Kwon, Kyu Sik Yoon, Min A Kang, Min Woo Park, Shin Hyuk Jo, Eun Jin Kang,
Mi Ja Seo, Yong Man Yu and Young Nam Youn*

Dept. Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon, 305-764

ABSTRACT: Several species of the genus *Aphidius* are used in biological control programs against aphid pests throughout the world and their behavior and physiology are well studied. While the importance of sensory organs in their behavior is understood, their antennal structure remains largely unknown. In this study, the external morphology and distribution of the antennal sensilla on the antennal of both female and male adults of *A. colemani* were described using scanning electron microscopy (SEM). Generally, the filiform antennae of males ($1,515.2 \pm 116.5 \mu\text{m}$) are longer than females ($1,275.1 \pm 103.4 \mu\text{m}$). Antennae of this species are made up of radicle, scape, pedicel and flagellomeres. Male and female antennae differed in the total number of flagellomeres as 15 in males and 13 in females. The result of SEM observation was characterization and grouping of seven types of receptors into morphological classes: Bohm bristles, Sensilla placodea, 2 types of *S. coeloconica* and *S. trichodea*, and *S. basiconica* as with a tip pore and with wall pores. In addition, the possible functions of the above sensilla types are discussed in light of previously published literature; mechanoreception (Bohm bristles, *S. coeloconica* I & II and *S. trichodea*) and chemoreception (*S. placodea*, *S. basiconica* type I & II).

Key words: *Aphidius colemani*, Antennal sensilla, SEM.

초 록: *Aphidius*속(Hymenoptera: Braconidae)에 속하는 일부 종은 주로 생물학적 방제 인자로서 사용되고 있으며, 행동학적 생태에 대하여 연구가 많이 되어있다. 행동에 있어서 신경기관을 중요성을 알고 있음에도 불구하고, 촉각의 구조는 널리 알려져 있지 않다. 본 연구에서는 콜레마니진디벌의 암수 성충의 촉각에 분포하는 감각기를 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 분류하고, 외부형태를 관찰하였다. 일반적으로 콜레마니진디벌의 촉각은 염주상(filiform)의 형태로 수컷($1,515.2 \pm 116.5 \mu\text{m}$) 이 암컷($1,275.1 \pm 103.4 \mu\text{m}$)보다 더 길다. 촉각은 촉각근절(radicle), 밑마디(scape), 자루마디(pedicel), 채찍마디(flagellomeres)로 구분된다. 암수컷의 채찍마디의 수에서 수컷은 15마디, 암컷은 13마디로 차이가 나타났다. 콜레마니진디벌의 촉각을 SEM을 이용하여 관찰한 결과, 총 7 종류의 감각기 즉, Bohm bristles, Sensilla placodea와 두 가지 타입의 *S. coeloconica*, *S. trichodea*, 또 tip pore 또는 wall pores가 있는지 여부에 따라 두 가지 *S. basiconica*를 확인할 수 있었다. 이전에 연구들을 바탕으로 각 감각기들의 기능을 추측해볼 때 Bohm bristles과 *S. coeloconica* type I & II, *S. trichodea* 등은 기계적감각을, *S. placodea*, *S. basiconica* type I & II는 화학적감각을 담당할 것으로 추정된다.

검색어: 콜레마니진디벌, 촉각 감각기, 주사전자현미경

*Aphidius*속(Hymenoptera: Braconidae)에 속하는 진디벌은 주로 진딧물의 생물적 방제 인자로서 사용되고 있고,

여러 나라에서 저온저장을 통해 상업적으로 이용되고 있다. 주로 시설재배지에서 재배되고 있는 작물에 발생하는 진딧물을 대상한 생물적 방제에 사용되고 있으며(Bourdais et al., 2006; van Lenteren, 2003), 기주와 기생자간의 상호작용과 행동학적 생태에 대한 연구가 보고되어 있다(Langer

*Corresponding author: youngnam@cnu.ac.kr

Received November 18 2010; revised December 3 2010; accepted December 15 2010

and Hance, 2004; Legrand *et al.*, 2004). 콜레마니진디벌 (*Aphidius colemani* Vierck)을 포함한 일부 고치벌류는 숙주 내에서 완전한 성장이 가능한 단독 내부기생자로서, 작물에 경제적으로 피해를 많이 주는 것으로 알려진 중요한 진딧물 류인 복숭아혹진딧물과 목화진딧물 등을 포함한 약 60종의 진딧물을 방제하는데 이용되고 있다(Stary, 1975; Kalina and Stary, 1976).

콜레마니진디벌 암컷은 산란하기 전에 산란할 대상을 탐색하는데, 암컷이 선택한 진딧물은 새끼의 활성에 직접적인 영향을 미칠 수 있을 것이라 보고된 바 있어(Singer *et al.*, 2004), 건강한 진딧물을 선택해야 하는 것이 필수적이라 하겠다. 또한 진딧물과 진딧물의 기주인 작물, 작물의 특성 뿐만 아니라, 발육에 관련하여 암컷의 상태도 진딧물을 선택 하는데 영향을 미친다(Karamaouna and Copland, 2000; Chau and Mackauer, 2001). 무당벌레와 같은 포식자의 존재 역시 콜레마니진디벌의 진딧물 선택에 있어서 행동학적 영향을 준다고 보고된 바 있다(Taylor *et al.*, 1998). 진딧물류 포식자인 무당벌레가 존재하지 않을 때에 비해 존재할 때 진디벌이 영역 내에 머무는 시간은 줄어들지만, 산란을 위한 암컷의 시도는 더 자주 나타났다.

콜레마니진디벌의 암컷이 기생할 진딧물의 크기는 먹이의 질과 관련이 있다고 보며, 진딧물 종류에 따른 크기에 따라 콜레마니진디벌의 산란선호성의 차이를 보였다(Sampaio *et al.*, 2008). Storeck *et al.*(2000)의 연구에 따르면 콜레마니진디벌 암컷은 사육될 때 제공된 기주식물과 진딧물의 조합을 더 선호하는 것으로 나타났고, 심지어 진딧물이 같을 경우 기주식물이 암컷의 선택에 영향을 준다고 보고된 바 있다. 또한 진디벌 수컷은 암컷이 분비하는 성페로몬에 대해 반응을 하는 것으로 알려져 있다(Read *et al.*, 1970; Askari and Alishas, 1979; Powell and Zhi-li, 1983; Bouchard and Cloutier, 1985). 그리고 진딧물을 인식하고 구애하고 산란하고 이동하며 방어하는 곤충의 행동은 식물에서 분비되는 식물휘발성 물질과 암컷이 분비해내는 화학물질을 탐지하여 이루어지게 된다.

성충의 촉각에는 서로 다른 기능을 하는 다양한 감각기가 존재하고, 성충이 생존하는 동안 행동학적으로 중요한 역할을 한다. 이러한 곤충의 촉각에 존재하는 감각기는 많이 연구되어 왔다(Ochieng *et al.*, 2000; Soroker *et al.*, 2004; Onagbola and Fadamiro, 2008). 촉각은 신경감각기를 가지며, 기주서식지와 교미위치를 포함한 다양한 자극을 감지하는 기능을 한다(Godfray, 1994; Champman, 1998). 촉각에

존재하는 후각, 미각 감각기는 미소환경 및 서식지의 냄새를 인지하는데 사용되고(Turlings *et al.*, 1995; Hoballah *et al.*, 2002), 종내 또는 종간의 기주 식별에 중요한 역할을 한다. 고치벌류의 성충 역시 다른 기생자와 마찬가지로 촉각의 화학감지기를 이용하여 최초의 서식지역, 기주 위치, 기주 적합성 평가를 한다(Steinberg *et al.*, 1993; Alborn *et al.*, 1995; Parè and Tumlinson, 1999; Ochieng *et al.*, 2000; Fukushima *et al.*, 2002; Hoballah *et al.*, 2002).

본 연구에서는 콜레마니진디벌의 교미행동과 진딧물의 위치 탐색행동에 있어서 정보화학물질을 어떻게 인식하는지 기능적인 부분을 이해하는데 있어 필수적인 감각기들에 대한 기초자료를 제공하고자, 촉각에 자리하고 있는 감각기의 종류와 분포를 주사전자현미경(scanning electron microscopy, SEM)을 이용하여 조사하였다. 콜레마니진디벌의 암수간의 감각기 비교 및 연구된 다른 고치벌의 촉각의 비교를 다루었으며, 이전의 연구들을 통하여 그 기능을 추정하였다. 콜레마니진디벌의 촉각에 분포하는 감각기의 형태적인 분류는 Schneider(1964)와 Zacharuk(1985)의 연구를 기초로 하였다. 콜레마니진디벌의 암수의 배쪽면과, 등쪽면에 분포하는 감각기를 분류하고, 그 수를 세었다. 본 연구는 SPSS통계프로그램(version 18.0)을 이용하여 T-test를 통해 통계분석을 실시하였다.

재료 및 방법

콜레마니진디벌의 머미를 (주)세실에서 구입하여 사용하였다. 구입한 머미는 젤라틴캡슐에 하나씩 넣어 온도 25±1°C, 상대습도 50~70%, 광주기 16L:8D의 조건에서 성충으로 우화시켰다. 우화한 콜레마니진디벌은 냉각시킨 후, 20배의 광학현미경을 통해 해부용 칼을 이용하여 머리 부분을 분리하였다. 주사전자현미경관찰을 위한 시료대(specimen stub)에 고정시키기 위해 시료대 부착용 탄소 양면테이프를 이용하였다. 표본을 시료대에 고정시킨 후에 60°C의 건조기에 15분간 넣어두어 건조시켰다. 건조한 뒤 표본은 Osmium sputter(HPC-1SW, Vaccum Device Inc, Japan)를 이용하여 코팅한 다음, 주사전자현미경(S-4800, Hitachi, Japan)으로 15kV의 조건에서 관찰하였다. 더듬이의 위치를 구별하기 위해 콜레마니진디벌이 고정된 상태에서의 더듬이의 위치를 기초로 등쪽면(dorsal face)과 배쪽면(ventral face)이라 하였다.

결 과

콜레마니진디벌의 암·수컷 촉각의 비교

콜레마니진디벌의 암컷과 수컷의 촉각은 두부의 겹눈과 입틀 사이에 위치하고 있으며, 형태는 동일하게 염주상(filiform)이며, 촉각근절(radicle, Ra), 밑마디(scape, Sc), 자루마디(pedicel, Pe), 채찍마디(flagellomeres)로 이루어져 있다(Fig. 1). 촉각의 길이는 수컷($1,515.2 \pm 116.5 \mu\text{m}$)이 암컷($1,275.1 \pm 103.4 \mu\text{m}$)에 비해 비교적 길다(Table 1). 암컷

은 채찍마디가 13마디로 이루어져 있는데 반하여, 수컷은 15마디로 차이가 나타났다(Fig. 2).

콜레마니진디벌의 촉각에 분포하는 감각기의 분류 및 분포

콜레마니진디벌의 촉각에 분포하는 감각기는 주사전자현미경을 통해 형태적인 특징을 기초로 분류한 결과, 7가지의 타입으로 분류할 수 있다. Bohm bristles, Sensilla placodea, Sensilla coeloconica type I & II, Seneilla trichodea,

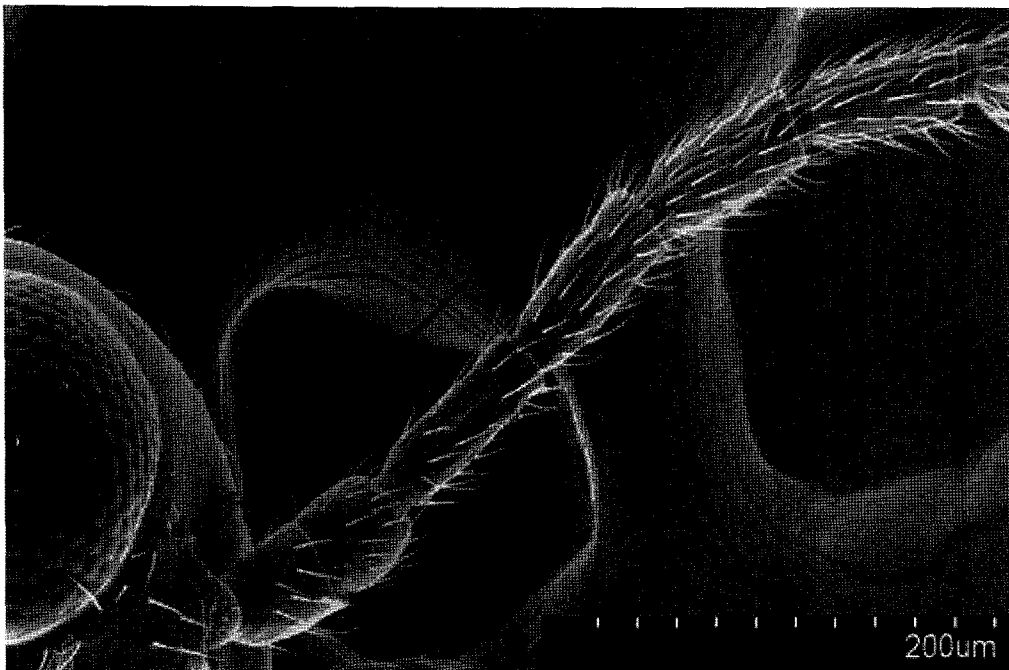


Fig. 1. The radicle (Ra), scape (Sc), pedicel (Pe) and flagellomeres on the antennae of *A. colemani*.

Table 1. Mean length (μm) of antennae in *A. colemani*

	Female	Male	<i>p</i>
Antennae length	1275.1 ± 103.4	1515.2 ± 116.5	0.003*

Values represent by Mean \pm SD, * $P < 0.050$; *T*-test in SPSS 18.0. N=10.

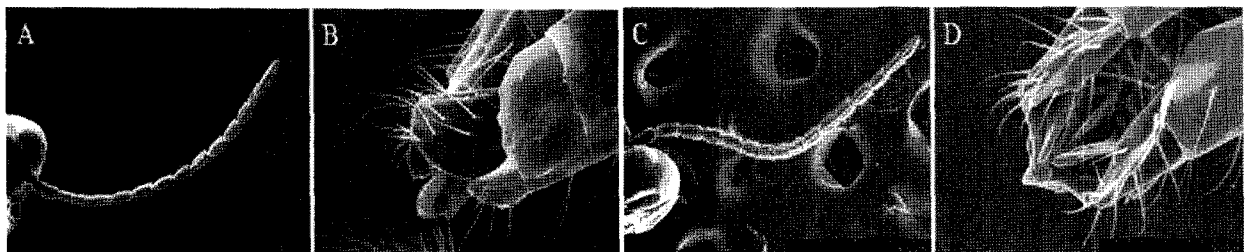


Fig. 2. General view of female antennae with 13 flagellomeres (A), female genitalia (B), male antennae with 15 flagellomeres (C), and male genitalia (D).

Table 2. Comparison of size (μm) of elongated S. placodea on flagellomeres of male and female adults of *A. colemani*

Sex	Flagellomeres															Mean \pm SD	p	
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th			
Length	F	78.9 \pm 5.4	80.3 \pm 5.7	81.7 \pm 2.4	82.8 \pm 2.6	77.6 \pm 2.8	78.0 \pm 2.1	73.9 \pm 2.8	76.4 \pm 4.6	78.9 \pm 1.8	83.2 \pm 3.8	79.6 \pm 6.2	78.5 \pm 5.4	80.6 \pm 5.4			79.3 \pm 4.5	0.000**
	M	90.5 \pm 8.0	88.3 \pm 4.8	86.5 \pm 6.3	88.0 \pm 8.6	85.5 \pm 7.0	83.8 \pm 8.0	82.2 \pm 9.3	84.6 \pm 5.3	85.5 \pm 7.9	86.2 \pm 10.3	85.2 \pm 8.3	85.2 \pm 9.6	84.4 \pm 6.7	82.5 \pm 5.3	85.1 \pm 5.6	85.6 \pm 7.1	
Width	F	5.1 \pm 0.2	4.7 \pm 0.4	4.3 \pm 0.4	4.1 \pm 0.5	4.1 \pm 0.7	3.8 \pm 0.5	3.8 \pm 0.6	3.9 \pm 0.7	3.8 \pm 0.4	3.6 \pm 0.3	3.5 \pm 0.4	3.0 \pm 0.4	3.5 \pm 0.6			3.9 \pm 0.7	0.041*
	M	5.3 \pm 0.5	4.9 \pm 0.2	4.8 \pm 0.3	4.7 \pm 0.2	4.4 \pm 0.3	4.2 \pm 0.6	4.5 \pm 0.6	3.9 \pm 0.1	4.0 \pm 0.6	3.9 \pm 0.4	3.8 \pm 0.2	3.8 \pm 0.3	3.4 \pm 0.5	3.5 \pm 0.5	3.6 \pm 0.7	4.2 \pm 0.7	

Values represent by Mean \pm SD, * P <0.050, ** P <0.001; T-test in SPSS 18.0. F, Female; M, Male. N=10.

Table 3. The mean number of the sensilla on each segment of antennae on *A. colemani*

Sex	Ra	Sc	Pe	Flagellomeres															Total
				1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th	
Female	30.6 \pm 4.0	22.6 \pm 4.0	49.4 \pm 5.5	66.8 \pm 7.2	78.8 \pm 12.7	88.2 \pm 7.8	89.4 \pm 8.1	96.8 \pm 8.4	95.0 \pm 7.5	100.2 \pm 9.5	106.0 \pm 11.0	114.8 \pm 9.6	128.4 \pm 9.8	123.8 \pm 12.0	123.8 \pm 10.1	227.0 \pm 19.1	1541.6 \pm 113.1		
	28.2 \pm 2.8	20.2 \pm 3.3	51.2 \pm 6.4	94.2 \pm 4.8	111.4 \pm 9.8	113.8 \pm 7.2	105.0 \pm 8.2	106.8 \pm 6.5	108.6 \pm 8.4	105.2 \pm 4.9	103.8 \pm 7.9	116.4 \pm 10.3	118.2 \pm 6.1	121.2 \pm 8.4	125.4 \pm 6.5	118.6 \pm 6.7	114.2 \pm 6.6	137.2 \pm 13.3	1771.4 \pm 57.7

Values represent by Mean \pm SD, Ra, Radicle; Sc, Scape; Pe, Pedicel. N=5.

Table 4. The mean number of the sensilla on the antennae with dorsal and ventral face in *A. colemani*

Sex	Ra	Sc	Pe	Flagellomeres															Total	
				1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th		
Female	Dorsa	17.0 \pm 1.0	10.2 \pm 3.3	22.2 \pm 4.2	30.0 \pm 5.3	42.4 \pm 5.5	41.8 \pm 4.2	41.8 \pm 5.3	45.2 \pm 6.8	47.0 \pm 4.8	48.4 \pm 7.4	51.2 \pm 7.2	55.4 \pm 6.1	60.8 \pm 6.5	61.2 \pm 7.6	60.8 \pm 6.8	111.0 \pm 13.4	746.4 \pm 70.2		
		Ventr	13.6 \pm 3.8	12.4 \pm 2.1	27.2 \pm 2.4	36.8 \pm 5.3	42.4 \pm 5.5	46.4 \pm 5.8	47.6 \pm 5.4	51.6 \pm 9.3	48.0 \pm 3.7	51.8 \pm 4.5	54.8 \pm 6.6	59.4 \pm 5.4	67.6 \pm 7.4	62.6 \pm 6.4	63.0 \pm 4.9	116.0 \pm 19.6	801.2 \pm 78.1	
Male	Dorsa	15.2 \pm 0.8	10.4 \pm 1.5	21.0 \pm 3.9	38.5 \pm 4.2	46.8 \pm 6.1	48.3 \pm 5.4	50.0 \pm 3.7	50.8 \pm 5.7	50.0 \pm 3.3	48.5 \pm 4.8	52.8 \pm 4.0	57.3 \pm 4.3	56.3 \pm 3.0	58.8 \pm 7.3	60.5 \pm 3.3	58.8 \pm 5.4	54.5 \pm 4.3	71.8 \pm 8.1	850.0 \pm 39.1
		Ventr	13.0 \pm 3.1	9.8 \pm 3.1	28.6 \pm 2.9	55.8 \pm 2.9	55.8 \pm 2.9	64.2 \pm 4.5	65.6 \pm 4.6	55.0 \pm 5.5	58.8 \pm 8.4	56.2 \pm 2.6	50.8 \pm 5.6	59.4 \pm 6.1	61.2 \pm 6.1	61.8 \pm 3.8	64.8 \pm 5.0	60.2 \pm 3.6	58.2 \pm 9.3	66.4 \pm 12.0

Values represent by Mean \pm SD, Ra, Radicle; Sc, Scape; Pe, Pedicel. N=5.

Sensilla basiconica type I & II로 분류된다. 전체적으로 암컷에 비해 수컷에 더 많은 감각기가 분포되어 있으며 (Table 3), 등쪽면보다 배쪽면에 더 많은 감각기가 분포되어 있다(Table 4).

Bohm bristles

콜레마니진디벌의 두부에서 가까운 마디인 촉각근절(radicle)과 자루마디(pedicel)에만 분포하고 있다. 자루마디에서는 기부 부분 가까운 곳에 주로 분포하고 있다. 길이가 짧고, 끝이 뾰족하며, 깊게 파인 홈에 삽입되어 있는 원뿔

형태를 가진다. 다른 감각기에 비해 비교적 많이 짧은 편이다(Fig. 3). 기부부분의 직경은 $1.0\pm 0.2 \mu\text{m}$ 이고, 길이는 $3.4\pm 0.9 \mu\text{m}$ 이다.

Sensilla placodea.

Sensilla placodea는 판 모양을 띄고 있어서 판상감각기라 불리기도 하며, 표면에 다수의 구멍이 존재하여 multiporous plate sensilla(MPS)라 불리기도 한다. 콜레마니진디벌의 촉각의 채찍마디에 다수 분포하고 있다. 형태적으로 이 감각기는 촉각의 정점방향으로 길쭉한 판 모양을 하고 있으며,

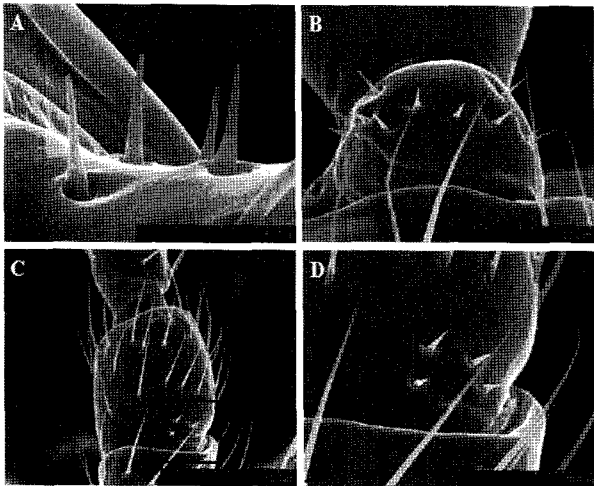


Fig. 3. Bohm bristles (A) on the radicle (B) and pedicel (C and D) of *A. colemani*.

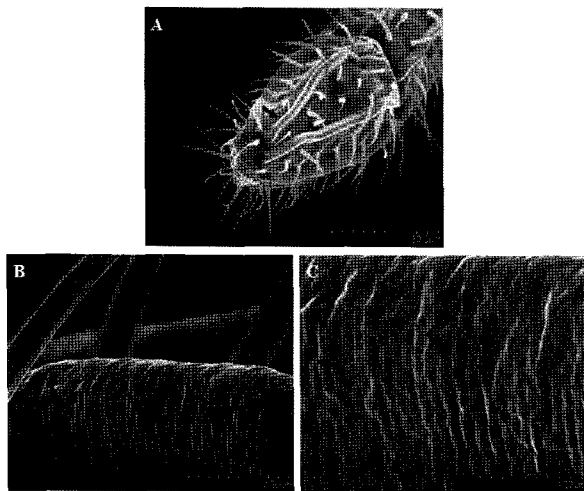


Fig. 4. The sensilla placodea have also been described as Multiporous Plate Sensilla (MPS). S. placodea (arrow) in all flagellomeres of both sexes of *A. colemani*. S. placodea on fla 15 of male (A) and detail of S. placodea showing multiple pores (arrow) arranged in rows (B and C).

표면에는 다수의 구멍이 존재한다(Fig. 4). 암수간의 감각기 크기에서 차이가 나타났는데, 수컷이 암컷에 비해 더 크게 나타났다(Table 2). 또한 암컷의 마지막 채찍마디인 13번째 마디를 제외한 나머지 채찍마디에서는 수컷에 더 많이 존재했다(Table 5). 특히 첫 번째 채찍마디에서는 육안으로도 분포하고 있는 정도의 차이가 보이며(Fig. 5), 약 4배 정도 차이가 났다(Table 5).

Sensilla coeloconica

콜레마니진디벌의 촉각에서는 Sensilla coeloconica 는

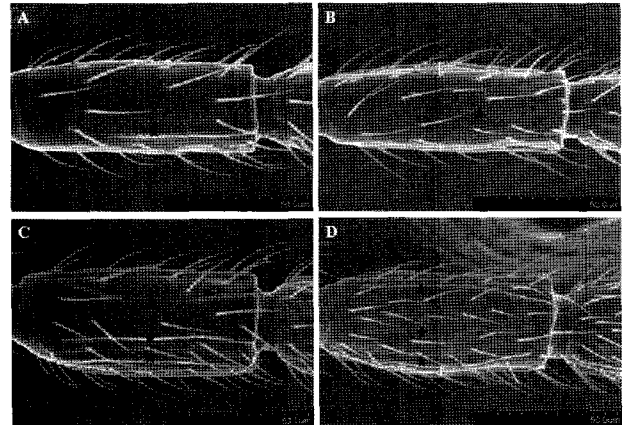


Fig. 5. First flagellomere of *A. colemani* showing Sensilla placodea (asterisks). (A) Dorsal face of female; B) Ventral face of female; C) Dorsal face of male; D) Ventral face of male.

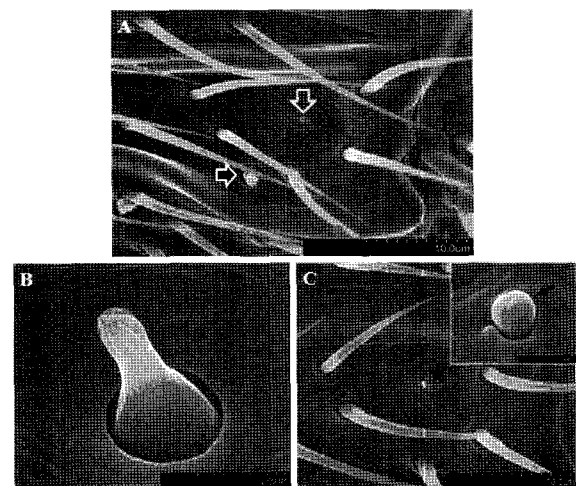


Fig. 6. Distal part of 11th antennomeres of a male *A. colemani* showing S. coeloconica type I (black arrow), and S. coeloconica type II (open arrow) (A). Sensilla coeloconica type I with finger-like (B). S. coeloconica type I, with bulbous structure (arrow) and donut-shape ring (asterisks) (C).

두 가지 타입이 분류되었으며(Fig. 6A), 두 가지 타입 모두 말단부분의 채찍마디마다 0-2개 정도씩 관찰되었다(Table 5).

S. coeloconica type I은 8번째 채찍마디부터 말단까지 각 마디의 말단부분에 위치하고 있다. 형태적인 특징으로는 등글게 움푹 파인 홈에 손가락을 오므린 듯한(finger-like) 모양으로 밖으로 나와 있는 것이 특징이다(Fig. 6B). 길이는 $3.3 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 이고, 기부 부분의 직경은 $2.0 \pm 0.3 \mu\text{m}$, 손가락 모양이 생겨나는 이 감각기의 중앙 부분의 직경은 $1.0 \pm 0.1 \mu\text{m}$ 이다.

S. coeloconica type II는 5번째 채찍마디부터 말단까지

Table 5. Number of different types of sensilla on each antennomere in both sexes on the antennae *A. colemani*

	Sex	Ra	Sc	Pe	Flagellomeres														
					1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	11th	12th	13th	14th	15th
Bohm bristles	F	30.6 ±4.1	•	8.4 ±0.9	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	-	-
	M	28.2 ±2.8	•	8.4 ±1.5	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
S. placodea	F	•	•	•	2.2 ±0.8	4.4 ±1.1	5.4 ±0.5	6.4 ±1.1	6.6 ±0.9	7.0 ±0.7	7.0 ±0.7	7.4 ±0.5	7.6 ±0.5	8.0 ±1.2	7.2 ±1.3	8.6 ±0.9	11.2 ±1.3	-	-
	M	•	•	•	7.8 ±1.5	9.0 ±1.6	9.2 ±0.8	8.8 ±0.8	8.8 ±0.4	9.0 ±1.0	8.6 ±0.5	8.8 ±0.8	9.4 ±1.1	9.2 ±1.1	8.4 ±1.5	8.8 ±0.8	9.2 ±0.8	8.8 ±0.8	8.4 ±1.9
S. coeloconic a type I	F	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0.4 ±0.5	0.8 ±0.8	1.0 ±0.7	0.6 ±0.5	0.8 ±0.4	-	-
	M	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	0.2 ±0.4	0.4 ±0.5	0.8 ±0.8	0.8 ±0.8	1.2 ±0.8	1.0 ±0.7	1.0 ±0.7	0.2 ±0.4
S. coeloconic a type II	F	•	•	•	•	•	•	•	•	0.2 ±0.4	0.4 ±0.5	0.2 ±0.4	•	0.2 ±0.4	0.2 ±0.4	0.2 ±0.4	•	-	-
	M	•	•	•	•	•	•	•	0.4 ±0.5	•	0.4 ±0.5	•	1.0 ±1.0	•	0.6 ±0.5	0.2 ±0.4	•	0.4 ±0.5	•
S. trichodea	F	•	22.6 ±4.0	41.0 ±5.6	61.6 ±5.9	66.0 ±11.7	73.4 ±6.5	75.4 ±6.8	81.2 ±8.0	80.2 ±8.2	84.4 ±9.3	90.0 ±9.7	95.4 ±8.7	106.8 ±11.1	96.2 ±11.9	95.4 ±9.9	179.8 ±15.2	-	-
	M	•	20.2 ±3.3	42.8 ±5.1	85.2 ±4.2	95.6 ±9.3	95.8 ±7.2	88.6 ±8.3	90.4 ±6.1	93.0 ±7.6	91.2 ±5.1	87.8 ±7.2	97.6 ±9.9	98.0 ±6.4	100.2 ±7.6	103.8 ±7.0	97.0 ±7.3	92.6 ±7.0	111.2 ±12.9
S. basiconica type I	F	•	•	•	2.4 ±0.9	3.0 ±0.7	3.4 ±1.1	4.6 ±0.9	6.0 ±2.3	5.6 ±1.1	7.2 ±1.6	8.0 ±1.9	9.6 ±1.5	9.8 ±1.1	11.8 ±0.8	12.0 ±1.2	33.2 ±4.3	-	-
	M	•	•	•	1.2 ±1.1	3.2 ±0.4	3.2 ±1.1	4.0 ±1.2	4.0 ±0.7	4.0 ±0.7	3.6 ±0.5	6.2 ±0.8	6.2 ±0.8	7.4 ±1.8	7.2 ±1.6	7.6 ±0.5	8.0 ±1.4	9.4 ±1.7	16.4 ±1.7
S. basiconica type II	F	•	•	•	0.6 ±0.9	5.4 ±0.9	6.0 ±1.0	3.0 ±1.6	3.0 ±1.6	2.0 ±1.0	1.2 ±0.4	0.4 ±0.5	1.8 ±0.8	2.8 ±1.8	7.4 ±1.5	7.0 ±1.2	2.0 ±1.4	-	-
	M	•	•	•	•	3.6 ±0.5	5.6 ±0.9	3.6 ±0.5	3.2 ±1.3	2.6 ±0.5	1.4 ±0.5	0.8 ±0.4	1.8 ±0.8	2.8 ±1.6	4.0 ±0.7	3.8 ±0.8	3.4 ±1.7	2.0 ±1.0	1.0 ±0.0

Values represent by Mean±SD, Ra, Radicle; Sc, Scape; Pe, Pedicel; F, Female; M, Male. N=5

각 마디의 말단부분에 위치하고 있다. 암컷의 경우 배쪽면 (Ventral face)에 주로 분포되어 있다(Table 4). 형태적인 특징으로는 둥근 구근 형태이며, 중간에 작은 구멍이 있으며, 구근 형태 주변의 큐티클이 도넛 모양으로 약간 상승되어 있다(Fig. 6C). 직경은 $0.8 \pm 0.1 \mu\text{m}$, 길이는 $0.7 \pm 0.1 \mu\text{m}$ 이다.

Sensilla trichodea

Sensilla trichodea는 가장 많이 분포하고 있는 감각기로서, 촉각근절을 제외한 나머지 마디인 밑마디, 자루마디, 채찍마디에 다수 분포하고 있다(Table. 5). 이 감각기는 소켓에 삽입되어 있고, 길고, 감각기의 표면에 길게 세로 홈이 나 있으며 끝이 뾰족하고 약간 휘어져있다(Fig. 7). 직경은 $1.3 \pm 0.1 \mu\text{m}$, 길이는 $23.3 \pm 4.9 \mu\text{m}$ 이다.

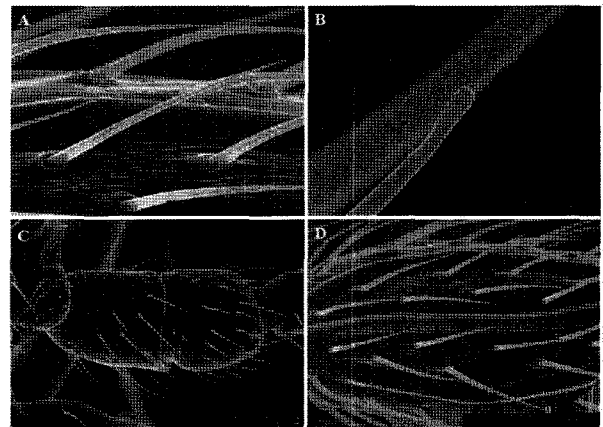


Fig. 7. Sensilla trichodea was inserted in a socket (A). Had a droplet shape at the tip (B). Sensilla trichodea were distributed antennae of *A. colemani* except radicle (C). Detailed morphology Sensilla trichodea on flagellomeres (D) of the antennae in the *A. colemani*.

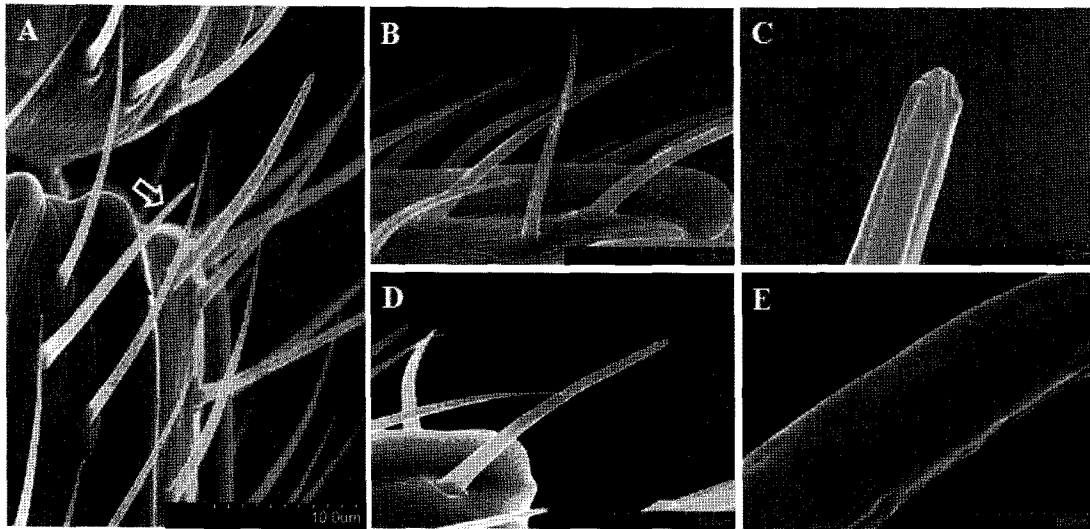


Fig. 8. Close-up view of a flagellomere sub segment showing Sensilla placodea (asterisk), *S. trichodea* (double-stemmed arrow), *S. basiconica* type I (white arrow) and *S. basiconica* type II (black arrow) (A). Sensilla *basiconica* type I has a classical conical shape (B) with pores (arrow) on the tip (C). Sensilla *basiconica* type II showing the bulbous base and the conical tip (D). Detail of the wall of a Sensilla *basiconica* type II showing multiple pores (E).

Sensilla basiconica

콜레마니진디벌의 촉각에서는 Sensilla basiconica 는 두 가지 타입이 분류되었다. 두 가지 타입 모두 채찍마디에만 분포를 하고 있고, 각각의 채찍마디 말단 부분에 주로 분포하고 있다(Fig. 8A).

Sensilla basiconica type I은 채찍마디에 분포하고 있는데, 각각의 채찍마디의 말단 부분에 존재하고, 거의 직각으로 존재한다. 암컷과 수컷의 가장 마지막 채찍마디에 가장 많이 분포하고 있고, 수컷보다 암컷의 채찍마디에 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있다(Table 5). 이 감각기는 길고, 표면에 세로 홈이 깊게 나 있고, 감각기의 말단 부분은 뿔뿔하며, 작은 구멍이 있는 것으로 보인다(Fig. 8B and C). 기부 부분 직경은 $1.3 \pm 0.1 \mu\text{m}$ 이며, 길이는 $16.8 \pm 3.8 \mu\text{m}$ 이다.

Sensilla basiconica type II는 채찍마디에만 분포하고 있으며, *S. basiconica* type I과 유사하게 각각의 채찍마디의 말단 부분에 주로 분포하고 있다. 이 감각기는 중간 부분이 말단부분으로 부드럽게 휘어져 있으며, 말단부분은 뿔뿔하고, 표면은 세로 홈이 없이 매끈하면서 다수의 구멍이 존재한다(Fig. 8D and E). 기부부분의 직경은 $1.7 \pm 0.3 \mu\text{m}$, 길이는 $18.6 \pm 3.0 \mu\text{m}$ 이다.

콜레마니진디벌 성별간의 감각기 차이.

콜레마니진디벌의 촉각의 길이는 암컷은 $1,275.1 \pm 103.4$

μm , 수컷은 $1,515.2 \pm 116.5 \mu\text{m}$ 으로 차이가 있었으며($P < 0.050$) (Table 1), 암 수컷의 채찍마디의 수에서 암컷은 13마디, 수컷은 15마디로 차이가 나타났다(Fig. 2). 암컷과 수컷간의 Sensilla placodea의 분포와 크기에서 차이가 나타났는데, 수컷에는 암컷보다 감각기의 크기가 더 크며($p < 0.050$) (Table 2), 더 많이 분포되어 있다. 특히 첫 번째 채찍마디에서 암컷(2.2 ± 0.8)에 비해 약 4배 정도 수컷(7.8 ± 1.5)에 더 많이 분포되어 있다(Table 5). Sensilla basiconica type I의 경우 수컷보다 암컷의 채찍마디에 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있다(Table 5).

고찰

곤충의 안테나는 일반적으로 촉각 근절, 말마디, 자루마디, 채찍마디 네 부분으로 나뉜다. 대부분의 고치벌류는 암컷에 비해 수컷이 더 많은 감각기를 가지고, 더 긴 촉각을 가지는데(Bleeker *et al.*, 2004; Dweck and Gadallah, 2008; Gao *et al.*, 2007), 콜레마니진디벌 역시 수컷이 채찍마디 15마디, 암컷이 13마디로 더 긴 촉각을 가지고 있으며, 더 많은 감각기들이 분포하고 있다.

콜레마니진디벌의 암, 수의 촉각에 분포하고 있는 감각기의 종류와 형태적인 특징은 다른 고치벌과 벌류와 유사하게 나타났다. 콜레마니진디벌의 암, 수의 촉각에는 형태적으로 다른 7가지의 감각기를 관찰 할 수 있었다. Bohm bristles는

콜레마니진디벌의 촉각근절 및 자루마디 기부 부분에 존재 하는데, *Habrobracon hebetor*, *Microplitis croceipes*, *M. pallidipes* (Hymenoptera: Braconidae)는 Sensilla chaetica 로 분류하였다(Dweck and Gadallah, 2008; Ochieng *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2007). 뿐만 아니라 *Callosobruchus chinensis*, *C. maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), 다듬이벌레(Psocoptera: Liposcelididae)에서도 Bohm bristles가 발견되었다(Hu *et al.*, 2009 a, b). 이 감각기는 원뿔형의 작은 고깔 모양을 하고 있으며, 분포하고 있는 위치적으로 볼 때 두부와 가깝게 촉각근절과 자루마디 기부부분에 위치하는 것으로 보아 촉각의 움직임에 따라 자신의 정보를 수용하는 물리감각수용기능을 한다고 알려져 있다(Zacharuk, 1985).

S. placodea는 촉각의 채찍마디에 주로 분포되어 있었다. 벌목의 다양한 기생봉에서도 S. placodea를 관찰 할 수 있다 (Barlin and Vinson, 1981; Basibuyuk and Quicke, 1999). 콜레마니진디벌의 경우, 암수의 채찍마디에 분포하는 S. placodea의 수적 분포 차이가 존재하였는데, 특히 첫 번째 채찍마디에서 수컷이 암컷에 비해 약 4배 정도 더 많은 S. placodea가 존재했다. *A. rhopalosiphi*에서도 채찍마디의 기부부분에는 암컷에 비해 수컷에 더 많이 존재하였으며, 길이도 더 길다(Bourdais *et al.*, 2006). *C. glomerata*와 *C. rubecula*의 S. placodea는 암컷에 비해 수컷에 존재하는 감각기가 더 길게 나타났다. 그리고 cross-section을 통해 S. placodea의 아래에 존재하는 내강은 이 감각기와 같은 방향으로 많은 수상돌기들이 분포되어 있음이 확인되었다 (Bleeker *et al.*, 2004). *M. pallidipes*의 S. placodea의 경우, 중간부분을 cross-section 한 결과, 감각기 옆에 홈이 돌출되어 감각기를 둘러싸고 있으며, 아래에는 많은 수상돌기들이 분포함을 확인할 수 있었다. 하지만 S. placodea의 말단부분을 cross-section 한 결과 감각기를 둘러싸고 있는 홈이 감각기보다 아래에 존재하였고, 아래에는 중간부분보다 수상돌기가 적게 분포하고 있으며 격막이 존재함을 확인하였다 (Gao *et al.*, 2007). 이 감각기는 single sensillum technique 실험을 통해 식물 휘발성 물질에 대하여 반응한다고 밝혀진 바 있다(Ochieng *et al.*, 2000). 또한 표면에 존재하는 mutiple cuticular pore system(Steinbrecht, 1984)이 있는 것으로 보아 후각기능을 할 것이라 추정된다.

콜레마니진디벌에서는 두 가지 타입의 Sensilla coeloconica가 발견되었는데, 이 두 가지 타입 모두 콜레마니진디벌의 암수 촉각의 말단 쪽 마디들에서 나타났다. 일반적으로 곤충에서의 Sensilla coeloconica는 pore가 없는 single-walled

또는 pore를 가지는 double-walled로 나뉘는데(Altner, 1977), pore가 없는 S. coeloconica는 온습도 감각을 한다고 알려져 있고, pore를 가지는 double-walled는 화학감각 및 열 감각 뉴런을 가진다고 보고되어 있다(Altner and Prillinger, 1980). S. coeloconica type I은 다른 고치벌류에서도 발견되었을 뿐 아니라(Dweck and Gadallah, 2008; Gao *et al.*, 2007; Bleeker *et al.*, 2004), 무당벌레(Park *et al.*, 2001)에서도 발견되었다. 이 감각기는 온도, 습도에 반응 할 것이라 추정된다(Zacharuk, 1980). S. coeloconica type II는 고치벌류(Dweck and Gadallah, 2004; Bourdais *et al.*, 2006; Roux *et al.*, 2005)에서도 관찰되었고, *Locusta migratoria*(Altner *et al.*, 1981)에서도 관찰되었다. *A. rhopalosiphi* (Hymenoptera: Braconidae)에서는 콜레마니진디벌에서 나타난 이 감각기와 매우 유사한 형태가 나타났다. 이 감각기는 온습도 감각기능이라 추정된다(Altner and Prillinger, 1980).

Sensilla trichodea는 콜레마니진디벌을 포함한 고치벌류에 가장 많이 분포하는 감각기이다(Ochieng *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2007, Dweck and Gadallah, 2008, Bleeker *et al.*, 2004, Bourdais *et al.*, 2006). *M. croceipes*, *M. pallidipes*, *H. hebetor*, *C. glomerata*, *C. rubecula* 에 분포하는 S. trichodea의 cross-section을 통하여 감각기의 외벽은 두껍고, 감각기의 표면에 구멍이 없음을 알 수 있다(Ochieng *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2007, Dweck and Gadallah, 2008, Bleeker *et al.*, 2004). 따라서 타 연구에서는 S. trichodea NP(non-pore)라 정의하기도 한다. 이러한 형태적인 특징에 따라 추정되는 기능으로 기계적 감각기능을 할 것이라 추정된다(Keil, 1999; Ochieng *et al.*, 2000).

콜레마니진디벌에서는 두 가지 타입의 Sensilla basiconica가 분류되었는데, 두 가지 타입 모두 촉각의 채찍마디마디의 말단부분에 주로 분포되어 있다. S. basiconica type I도 역시 고치벌류에 주로 분포되어 있다(Ochieng *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2007, Bleeker *et al.*, 2004). S. basiconica type I은 가장 말단의 채찍마디를 제외하고 수컷에 비하여 암컷에 더 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. 이러한 특징은 *A. rhopalosiphi*에서도 나타났다(Bourdais *et al.*, 2006). *M. croceipes*, *M. pallidipes*, *C. glomerata*, *C. rubecula* 에 분포하고 있는 S. basiconica type I 역시 콜레마니진디벌과 유사하게 감각기의 말단부분에 구멍이 존재하였다. 그리고 cross-section 한 결과, 두꺼운 외벽으로 이루어져 있고, 내부에는 몇 개의 수상돌기가 분포하고 있다(Ochieng *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2007, Bleeker *et al.*, 2004). 따라서

이러한 형태적인 특징으로 타 연구에서는 S. trichodea TP(tip-pore)로 정의하기도 한다. 또한 이 감각기의 말단에 존재하는 구멍 및 다른 연구에서 cross-section한 결과와 종합해 볼 때 접촉화학감지, 즉 미각기능을 할 것이라 추정된다(Barbarossa *et al.*, 1998). Sensilla basiconica type II역시 콜레마니진디벌을 비롯한 많은 고치벌류에서도 분포하고 있다(Ochieng *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2007, Bleeker *et al.*, 2004). 이 감각기의 외부형태적인 특징으로 말단이 뭉뚝하고, 표면에 다수의 구멍이 존재하였다. *M. croceipes*, *M. pallidipes*, *C. glomerata*, *C. rubecula*, *A. rhopalosiphi*에 분포하고 있는 S. basiconica type II역시 콜레마니진디벌에 나타난 감각기의 외부형태와 매우 유사하였다. 그리고 cross-section 한 결과, 두꺼운 외벽이 존재하였고, 외부와 내부를 이어줄만한 통로가 존재하는 것으로 인하여 표면에 다수의 구멍이 관찰된 것으로 보인다. 그리고 내부에는 다수의 수상돌기가 분포되어 있다(Ochieng *et al.*, 2000; Gao *et al.*, 2007, Bleeker *et al.*, 2004). 따라서 이러한 형태적인 특징으로 타 연구에서는 S. trichodea WP (wall-pore)로 정의하기도 한다. 또한 이 감각기의 표면에 존재하는 구멍 및 다른 연구에서 cross-section 한 결과와 종합해 볼 때 후각기능을 할 것이라 추정된다(Altner and Prillinger, 1980).

콜레마니진디벌은 Bohm bristles, S. placodea, S. coeloconica type I & II, S. trichodea, S. basiconica type I & II를 사용하여 교미행동, 기주 위치 탐색행동에 있어서 식물휘발성물질, 페로몬과 같은 정보화학물질을 감지하고, 온습도를 감지하여 적절한 서식처나 환경을 탐색할 것으로 추정된다. 따라서 앞으로 이들 TEM을 이용한 신경계관찰 및 감각기에 대한 전기 생리학적인 EAG와 single sensillum technique을 이용하여 각 감각기의 감각적인 반응을 규명해야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 2010년 농림수산물기술평가원의 과채류공통수출연구사업단의 수출과채류 친환경적 안전생산 기반 기술 개발과제를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었으며 이에 감사를 드립니다.

Literature Cited

Albom, H.T., W.J. Lewis and J.H. Tumlinson. 1995. Host-specific

- recognition kairomone for the parasitoid *Microplitis croceipes* (Cresson). *J. Chem. Ecol.* 21: 1697-1708.
- Altner, H. and L. Prillinger. 1980. Ultrastructure of invertebrate chemo-, thermo-, and hygroreceptors and its functional significance. *Int'l. Rev. Cytol.* 67: 39-139.
- Altner, H., C.H. Routil and R. Loftus. 1981. The structure of bimodal chemo-, thermo-, and hygroreceptive sensilla on the antenna of *Locusta migratoria*. *Cell Tiss. Res.* 215: 289-308.
- Altner, L. 1977. Insect sensillum specificity and Structure: an approach to a new topology. *Olfaction and Taste IV* (eds. J. LeMangen and P. MacLeods). Information Retrieval, London. pp. 295-303.
- Askari, A. and A. Alishah. 1979. Courtship behavior and evidence for a sex pheromone in *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae), the cabbage aphid primary parasitoid. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 72: 749-750.
- Barbarossa, I.T., P. Muroli, M. Dardani, P. Casula and A.M. Angioy. 1998. New insight into the antennal chemosensory function of *Opius concolor* (Hymenoptera: Braconidae). *Int'l. J. Zool.* 65: 367-370.
- Barlin, M.R. and S.B. Vinson. 1981. Multiporous plate sensilla in the antenna of the Chalcidoidea (Hymenoptera). *Int'l J. Insect Morphol. Embryol.* 10: 29-42.
- Basibuyuk, H.H. and D.L.J. Quicke. 1999. Gross morphology of multiporous plate sensilla in the Hymenoptera (Insecta). *Zool. Scripta.* 28: 51-67.
- Beckage, N.E. and D.B. Gelman. 2004. Wasp parasitoid disruption of host development: implications for new biologically based strategies for insect control. *Annu. Rev. Entomol.* 49: 299-330.
- Bleeker, M.A.K., H.M. Smid, A.C. van Aelst and J.J.A. van Loon. 2004. Antennal sensilla of two parasitoid wasps: A comparative scanning electron microscopy study. *Micro. Res. & Tech.* 63: 266-273.
- Bouchard, Y. and C. Cloutier. 1985. Role of olfaction in host finding by aphid parasitoid *Aphidius nigripes* (Hymenoptera: Aphidiidae). *J. Chem. Ecol.* 11: 801-808.
- Bourdais, D., P. Vernon, L. Krespi, J.L. Lannic and J.V. Baaren. 2006. Antennal structure of male and female *Aphidius rhopalosiphi* DeStefani-Peres (Hymenoptera: Braconidae): Description and morphological alterations after cold storage of heat exposure. *Micro. Res. & Tech.* 69: 1005-1013.
- Chapman, R.F. 1998. *The Insects. Structure and Function*, 4th edn. Cambridge University Press. pp. 8-10.
- Chau, A. and M. Mackauer. 2001. Preference of the aphid parasitoid *Monoctonus paulensis* (Hymenoptera: Braconidae, Aphidiinae) for different aphid species: female choice and offspring survival. *Biol. Con.* 20: 30-38.
- Colinet, H., C. Salin, G. Boivin and T.H. Hance. 2005. Host age and fitness-related traits in a koinobiont aphid parasitoid. *Ecol. Entomol.* 30: 473-479.
- Dreller, C. and W.H. Kirchner. 1993. Hearing in honeybees: localization of the auditory sense organ. *J. Comp. Physiol. A.* 173: 275-279.
- Dweck, H.K.M. and N.S. Gadallah. 2008. Description of the antennal sensilla of *Habrobracon hebetor*. *Biocontrol.* 53: 841-856.

- Fukushima, J., Y. Kainoh, H. Honda and J. Takabayashi. 2002. Learning of herbivore-induced and nonspecific plant volatiles by a parasitoid, *Cotesia kariyai*. J. Chem. Ecol. 28: 579-586.
- Gao, Y., L. Li-Zhi and H. Abner. 2007. Antennal morphology, structure and sensilla distribution in *Microplitis pallidipes* (Hymenoptera: Braconidae). Micron. 38: 684-693.
- Godfray, H.C.J. 1994. Parasitoids: Behavioural and Evolutionary Ecology. Monographs in Behavior and Ecology. Princeton, NJ: Princeton University Press. pp. 1-476.
- Hagvar, E.B. and T. Hofsvang. 1991. Aphid parasitoids (Hymenoptera, Aphidiidae): biology, host selection and use in biological control. Biocon. News & Inform. 12: 13-41.
- Hays, D.B. and S.B. Vinson. 1971. Acceptance of *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) as a host by parasite *Cardiochiles nigriceps* Viereck (Hymenoptera: Braconidae). Anim. Behav. 19: 344-352.
- Hu, F., G.N. Zhang and J.J. Wang. 2009a. Scanning electron microscopy studies of antennal sensilla of bruchid beetles, *Callisobruchus chinensis* (L.) and *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). Micron. 40: 320-326.
- Hu, F., G.N. Zhang and J.J. Wang. 2009b. Antennal sensillae of five stored-product psocids pests (Psocoptera: Liposcelididae). Micron. 40: 628-634.
- Hoballah, M.E., C. Tamo and T.C.J. Turlings. 2002. Differential attractiveness of induced odors emitted by eight maize varieties for the parasitoid *Cotesia marginiventris*: is quality or quantity important? J. Chem. Ecol. 28: 951-968.
- Hofsvang, T. and E.B. Hågvar. 1975a. Developmental rate, longevity, fecundity, and oviposition period of *Ephedrus cerasicola* Starý (Hymenoptera; Aphidiidae) parasitizing *M. persicae* Sulz (Homoptera; Aphididae) on paprika. Norwe. J. Entomol. 22: 15-22.
- Hofsvang, T. and E.B. Hågvar. 1975b. Duration of development and longevity in *Aphidius ervi* and *Aphidius platensis* (Hymenoptera; Aphidiidae), two parasites of *Myzus persicae* (Homoptera; Aphididae). Entomophaga. 20: 11-22.
- Hofsvang, T. and E.B. Hågvar. 1978. Larval morphology and development of *Aphidius colemani* Viereck and *Ephedrus cerasicola* Starý (Hymenoptera: Aphidiidae). Norwe. J. Entomol. 25: 1-8.
- Islam, K.S., H.A.S. Perera and M.J.W. Copland. 1997. The effects of parasitism by an encyrtid parasitoid, *Anagyrs pseudococci* on the survival, reproduction and physiological changes of the mealybug, *Planococcus citri*. Entomol. Exp. Appl. 84: 77-83.
- Kalina, V. and P. Stary. 1976. A review of the aphidophagous Aphlinidae (Hymenoptera: Chalcidoidea), their distribution and host range in Europe. Studia Entomol. Forestalia (Praha, Czechoslovakia). 2: 143-170.
- Karamaouna, F. and M.J.W. Copland. 2000. Host suitability, quality and host size preference of *Leptomastix epona* and *Pseodaphucus flavidulus*, two endoparasitoids of the mealybug *Pseudococcus viburni*, and host size effect on parasitoid sex ratio and clutch size. Entomol. Exp. Appl. 96: 149-158.
- Keil, T.A. 1999. Morphology and development of the peripheral olfactory organs. In: Hanson, B.S., editor. Insect Olfaction. New York: Springer-Verlag. pp. 5-47.
- Kim, Y.G. and J.A. Park. 2006. Distribution of antennal sensilla in *Cotesia plutellae* and effect of flagellectomy on parasitism. Kor. J. Appl. Entomol. 45: 378-380.
- Langer, A. and T. Hance. 2004. Enhancing parasitism of wheat aphids through apparent competition: A tool for biological control. Agric. Ecosyst. Environ. 102: 205-212.
- Legrand, M.A., H. Colinet, P. Vernon and T. Hance. 2004. Autumn, winter, and spring dynamics of aphid *Sitobion avenae* and parasitoid *Aphidius rhopalosiphii* interactions. Ann. Appl. Biol. 145: 139-144.
- Liu, S.S., R. Morton and R.D. Hughes. 1984. Oviposition preference of a hymenopterous parasite for certain instars of its aphid host. Entomol. Exp. Appl. 35: 249-254.
- Martinou, A.F. and D.J. Wright. 2007. Host instar and host plant effects on *Aphidius colemani*. J. Appl. Entomol. 131: 621-624.
- McClure, M., J. Whistlecraft and J.N. McNeil. 2007. Courtship behavior in relation to the female sex pheromone in the parasitoid, *Aphidius ervi* (Hymenoptera: Braconidae). J. Chem. Ecol. 33: 1946-1959.
- Milne, W.M. 1988. Factors affecting the performance of *Aphidius ervi* in the laboratory and its potential for establishment in the field. In: Niemczyk E; Dixon AFG Ecology and effectiveness of aphidophaga.(eds) The Hague; SPB Academic Publishing. pp. 203-210.
- Ochieng, S.A., K.C. Park, J.W. Zhu and T.C. Baker. 2000. Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae). Arthropod Struct. Dev. 29: 231-240.
- Onagbola, E.O. and H.Y. Fadamiro. 2008. Scanning electron microscopy studies of antennal sensilla of *Pteromalus cerealellae* (Hymenoptera: Pteromalidae). Micron. 39: 546-535.
- Pandey, S. and R. Singh. 1999. Host size induced variation in sex ratio of an aphid parasitoid *Lysiphlebia mirizai*. Entomol. Exp. Appl. 90: 61-67.
- Parè, W. and J.H. Tumlinson. 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. Plant Physiol. 121: 325-331.
- Park, S.J., H.W. Oh, Y.N. Youn and H.Y. Park. 2001. Structure of antennal sensilla on the adult asian ladybird, *Hamonia axyridis* Pallas (Coleoptera: Coccinellidae). Kor. J. Electron Microscopy. 31: 91-99.
- Platt, K.B., K.J. Linthicum, K.S. Myint, B.L. Innis, K. Lerdthusnee and D.W. Vaughn. 1997. Impact of dengue virus infection on feeding behavior of *Aedes aegypti*. Am. J. Trop. Med. Hyg. 57: 119-125.
- Powell, W. and Z. Zhi-li. 1983. The reactions of two cereal aphid parasitoids, *Aphidius uzbekistanicus* and *A. ervi* to host aphids and their food-plants. Physiol. Entomol. 8: 439-443.
- Read, D.P., P.P. Feeny and R.B. Root. 1970. Habitat selection by aphid parasite *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Braconidae) and hyperparasite *Charips brassicae* (Hymenoptera: Cynipidae). Canadian Entomol. 102: 1567-1578.
- Roux, O., J.V. Barren, C. Gers, L. Arvanitakis and L. Legel. 2005. Antennal structure and oviposition behavior of the *Plutella xylostella* specialist parasitoid: *Cotesia plutellae*. Micro. Res. & Tech. 68: 36-44.
- Sampaio, M.V., V.H.P. Bueno and B.F. De Conti. 2008. The effect

- of the quality and size of host aphid species on the biological characteristics of *Aphidius colemani* (Hymenoptera : Braconidae: Aphidiinae). Eur. J. Entomol. 105: 489-494.
- Schneider, D. 1964. Insect antennae. Annu. Rev. Entomol. 9: 103-122.
- Schwartzkopff, J. 1974. Mechanoreception. In: The Physiology of Insecta; 2nd ed., Vol. II (ed. M. Rockstein). New York and London: Academic Press. pp. 273-352.
- Shalaby, F.F. and J.M. Rabasse. 1979. On the biology of *Aphidius matricariae* Hal. (Hymenoptera: Aphidiidae), parasite on *Myzus persicae* (Sulz.) (Homoptera: Aphididae). Ann. Agricul. Sci. Moshtohor. 11: 75-96.
- Singer, M.S., D. Rodrigues, J.O. Stireman and Y. Carriere. 2004. Role of food quality and enemy-free space in host use by generalist insect herbivore. Ecol. 85: 2747-2753.
- Soroker, V., S. Talebaev, A.R. Harari and S.D. Wesley. 2004. The role of chemical cues in host and mate location in the pear psylla *Cacopsylla bidens* (Homoptera: Psyllidae). J. Insect Behav. 17: 613-626.
- Stary, P. 1975. *Aphidius colemani* Viereck: its taxonomy, distribution and host range (Hymenoptera: Aphidiidae). Acta. Entomol. Bohemoslovaca 72: 156-163.
- Steinberg, S., M. Dicke and L.E.M. Vet. 1993. Relative importance of infochemicals from first and second trophic level in long-range host location by the larval parasitoid *Cotesia glomerata*. J. Chem. Ecol. 19: 47-59.
- Steinbrecht, R.A. 1984. Arthropods: chemo-, thermo-, and hygroreceptors. In: Bereiter-Hahn J, Matolsty AG, Richards KS (Eds.), Biology of the Integument, vol. 1. Springer-Verlag, Berlin, pp. 523-553.
- Storeck, A., G.M. Poppy, H.F. van Emden and W. Powell. 2000. The role of plant chemical cue in determining host preference in the generalist aphid parasitoid *Aphidius colemani*. Entomol. Exp. Appl. 97: 41-46.
- Takanashi, M. 1990. Development and reproductive ability of *Lysiphlebus japonicus* Ashmead (Hymenoptera: Aphidiidae) parasitizing the citrus brown aphid, *Toxoptera citricidus* (Kirkaldy) (Homoptera: Aphididae). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 34: 237-243.
- Taylor, A.J., C.B. Müller and H.C.J. Godfray. 1998. Effect of aphid predators on oviposition behavior of aphid parasitoids. J. Insect Behav. 11: 297-302.
- Turlings, T.C.J., J.H. Loughrin, P.J. McCall, U.S.R. Røe and W. Lewis. 1995. How caterpillar-damaged plants protect themselves by attracting parasitic wasps. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 92: 4169-4174.
- van Lenteren JC. 2003. Quality Control and Production of Biological Control Agents: Theory and Testing Procedures(ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK. pp. 1-352.
- Weselow, R.M. 1972. Sense organs of hyperparasite *Cheiloneurus noxius* (Hymenoptera: Encyrtidae) important in host selection process. Ann. Entomol. Soc. Am. 65: 41-46.
- Zacharuk, R. Y. 1980. Ultrastructure and function of insect chemosensilla. Ann. Rev. Ent. 25: 27-47.
- Zacharuk, R.Y. 1985. Antennae and sensilla, In: Kerkut G.A., Gilbert L.I. (eds.). Comparative insect physiology, Biochemistry and Pharmacology. Vol. 6. Pergamon Press, Oxford. pp. 1-69.