

주사전자현미경을 이용한 목화바둑명나방의 더듬이 감각기와 꼬리털의 외부 형태적 특징

이대홍 · 강명기 · 이희진 · 석희봉 · 박선남 · 강은진 · 서미자¹ · 유용만 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, ¹충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

Ultrastructural Characteristics of Antennal Sensilla and Hair-pencils on the Cotton Caterpillar, *Palpita indica* (Lepidoptera: Pyralidae) Using Scanning Electron Microscope

Dae Hong Lee, Myong Ki Kang, Hee Jin Lee, Hee Bong Seok, Sun Nam Park, Eun Jin Kang, Mi Ja Seo¹, Yong Man Yu and Young Nam Youn*

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

¹Dept. of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763

ABSTRACT : The external ultrastructural morphology and distribution of antennal sensilla and hair-pencils of *Palpita indica* (Saunders) were examined by scanning electron microscopy. The antennal flagellum of male and female has six types of sensilla: long trichodea, short trichodea, chaetica, coeloconicum around spines, camaniformia and styloconica. There are sexual differences in antennae of *P. indica*. The female antenna has a coeloconicum sensillum without spines nearby the long trichodea sensilla on ninth flagellomere. Otherwise, auricillica sensilla are distribute on the basal segment of male antenna. These structures are not showed in the female antenna. There are a lot of pores on the hair tufts of the male hair-pencils.

KEY WORDS : Cotton caterpillar, *Palpita indica*, Antenna sensilla, Hair-pencils, Scanning electron microscope (SEM)

초 록 : 목화바둑명나방[*Palpita indica* (Saunders)]의 더듬이에 있는 감각기와 꼬리털의 구조를 주사전자현미경을 통하여 관찰하였다. 목화바둑명나방의 암컷과 수컷에는 공통적으로 6종류의 감각기가 분포하고 있었으며, 그 종류로는 긴털감각기(Ltr: long trichodea sensilla), 짧은털감각기(Str: short trichodea sensilla), 센털감각기(Ch: chaetica sensilla), 돌기함몰형감각기(Cos: coeloconicum sensillum around spines), 종상감각기(Ca: camaniformia sensilla), 돌출형감각기(St: styloconica sensilla) 등이 있다. 그러나 함몰형감각기(Co: coeloconicum sensillum)는 암컷에서만 관찰이 되었고, 이에 반하여 수컷에서는 구두주걱형감각기(Au: auricillica sensillum)가 분포하고 있다. 꼬리털에는 수컷에 달려 있는 털 타래 표면에 많은 구멍이 관찰되었다.

검색어 : 목화바둑명나방, *Palpita indica*, 더듬이, 꼬리털, 주사전자현미경

*Corresponding author. E-mail: youngnam@cnu.ac.kr

목화바둑명나방(*Palpita indica* (Saunders))은 작은각시 들명나방이라고도 하며, 나비목(Lepidoptera) 명나방과(Pyralidae)에 속하는 곤충이다. 외국에서 목화바둑명나방의 학명은 *Diaphania indica* (Saunders)로 사용되고 있으며, 일반명은 cotton caterpillar 혹은 pumpkin caterpillar, gherkin caterpillar라 불린다(Kinjo and Arakaki, 1997; Krishnamoorthy *et al.*, 2004; Narayanan and Veenakumari, 2003). 분포지역으로는 주로 우리나라를 포함하여 동북아 지역과 열대아시아 등에 분포하는 것으로 보고되고 있다(Peter and David, 1991). 목화바둑명나방의 유충은 주로 박과작물을 가해하게 되는데 오이, 수박, 참외, 멜론 등 경제작물을 가해하고 있으며, 특히 최근 들어서는 시설 재배지에서의 작물 재배가 확대됨에 따라서 피해 사례가 점차 증가하고 있다. 피해증상으로는 유충들이 주로 피해작물의 잎 뒷면을 갉아먹어 그물맥만을 남겨 놓게 되고, 발생이 많을 경우에는 과육의 표피를 가해를 하여 상품성을 떨어뜨리게 한다(Choi *et al.*, 2003b). 이와 같은 피해에도 불구하고 목화바둑명나방에 대한 연구는 다른 해충에 비하여 많이 이루어지지 않고 있다.

국내에서의 연구내용을 살펴보면, Shin *et al.* (2000)은 온도가 목화바둑명나방의 발육과 생식에 미치는 영향을 보고하였는데, 1세대당 순 증식율은 27.5°C에서 199.1로 제일 높았고, 내적자연증가율은 30°C에서 0.148로 가장 크게 나타났다고 보고 한바 있으며, Kim *et al.* (2001)은 곤충병원성 선충을 이용하여 방제하려는 노력을 시도하기도 하였다. 이외에도 몇가지 약제에 대한 약효 시험에 관한 자료도 찾아볼 수 있다(Kim *et al.*, 1994). 국외의 경우를 보면, 일본에서의 연구가 주를 이루고 있다. Kinjo and Arakaki (1997)는 목화바둑명나방의 교미행동을 관찰하였고, 온도에 따라 변하는 발육과 생식의 특성을 살펴본 기록도 볼 수 있다(Kinjo and Arakaki, 2002). Krishnamoorthy *et al.* (2004)은 유충에 기생하는 기생봉인 *Dolichogenidea stantoni*를 찾아서 보고하였고, Visalakshy (2005)는 더 많은 천적을 찾아서 보고한 바 있으며, Narayanan and Veenakumari (2003)는 유충에서 nuclear polyhedrosis virus를 분리하기도 하여 생물적방제의 길을 열어 놓았다. 또한, Gyoutoku and Yokoyama (2003)는 살충제에 대한 감수성을 시험하였으며, Gyoutoku *et al.* (2004)은 방충망을 이용한 물리적 방제방법을 제안하였다. 중국의 경우에는 살충제(Chen, 1999) 혹은 식물추출물인 님오일에 대한 방제효과(He *et al.*, 2007)와 여러 가지 essential oil에 대한 식이 억제 효과를 시험한 보고를 볼 수 있다(Qin *et al.*, 2001).

Choi *et al.* (2003a)은 수박에서 발생하는 목화바둑명나방의 유충은 먹이식물로 오이, 박, 수박 등의 순이었고, 참외, 동아, 멜론, 안동오이 등은 중간정도이었고 수세미와 목화는 매우 낮은 선호도를 보였다고 보고 한 바 있으며, Shin *et al.* (2002)이 보고한 오이와 호박, 수박, 참외 순서와 유사한 결과를 찾아 볼 수 있다. 한편, 이들은 성충의 경우 산란선호성도 오이와 호박에서 가장 높게 나타났다고 보고 한 바 있다. 수박의 경우에는 상위엽과 하위엽보다는 중간부위의 잎에 알을 가장 많이 낳았고, 잎자루와 줄기보다는 잎부분에, 그리고 잎의 앞면보다는 뒷면에 주로 알을 낳는 특성을 나타내고 있었다고 보고 하였다(Choi *et al.*, 2003a).

목화바둑명나방은 수컷이 암컷의 성 페르몬에 유인된다고 하는 보고가 있는 후에(Kinjo and Arakaki, 1997), Wakamura *et al.* (1998)에 의해서 페르몬이 분리 동정되었으며, 이를 바탕으로 발생예찰을 위한 성페르몬이 개발되어 시험되고 있는데, (E)-11-hexadecenal과 (E, E)-10, 12-hexadecadienal을 7:3으로 혼합했을 때 가장 유인량이 많았으며, 시기별로는 9월 하순에 가장 유인량이 많았다고 보고하고 있다(Choi *et al.*, 2003b).

이러한 나방의 기주탐색 및 배우자 탐색에 있어 중요한 역할을 담당하는 기관은 더듬이와 기타 감각기관이다. 목화바둑명나방의 경우에는 아마도 더듬이 이외의 기관으로는 꼬리에 달려있는 꼬리털이 중요한 역할을 담당하고 있을 것으로 추측된다. 배우자 탐색에 있어 중요하게 작용하는 물질이 성 페르몬이고, 대부분 성 페르몬은 암컷이 분비하여 수컷이 감지하는 체계가 많은 곤충에서 일반화 되어 있는 현상이다(Hansson, 1995). 나비목에 속하는 곤충들에서 많은 수컷들이 생식기 부위나 복부 끝 부분에 솔 모양 혹은 꼬리털 모양의 정교한 기관을 가지고 있다(Birch and Hefetz, 1987). *Mamestra brassicae*를 포함한 일부 밤나방과에 속하는 나방들의 수컷은 복부에 주머니를 달고 있는데, 주머니를 열게 되면 큰 솔 모양의 털들이 나오게 된다(Birch, 1970; Kobayashi, 1977). 이러한 꼬리털이 배우자를 탐색하는데 구체적으로 어떠한 역할을 수행하고 있는지에 관한 연구는 많이 이루어지고 있지 않다(Baker *et al.*, 1981).

목화바둑명나방의 배우자 탐색행동을 보면, 낮에는 암컷이 복부를 위로 추켜세우고 꼬리털을 펴고 빙빙 돌리며, 밤에는 꼬리털을 접어놓고, 복부 끝을 구부리면서 암컷은 수컷을 유인하는 페르몬을 방출하게 되며, 수컷은 이에 반응하여 암컷 주위로 날아오게 되고, 더듬이와 다리로 암컷과 접촉을 시도한 후에 암컷 옆에 내려 앉아 교미를

시도하게 된다(Kinjo and Arakaki, 1997).

본 논문은 목화바둑명나방에서 배우자 탐색에 이용되는 더듬이와 꼬리털의 역할을 좀 더 세밀하게 분석할 수 있는 기초자료를 제공하고자, 주사전자현미경을 이용하여 암컷과 수컷의 더듬이와 꼬리털의 미세구조를 관찰하고 이를 비교하였으며, 앞으로 암컷에서 분비하는 페르몬이나 기주식물에서 나오는 식물휘발성 물질에 반응하는 축각전도도(electroantennogram, EAG)를 측정하는데 기초자료를 제공하고자 수행되었다.

재료 및 방법

목화바둑명나방

시험에 사용한 목화바둑명나방은 대전시 유성지역에서 2006년 5월에 채집하여 오이를 기주식물로 실내에서 누대사육하면서 재료로 사용하였다. 깨끗한 표본을 얻기 위하여 번데기를 수거한 후 작은 유리병에 넣어 우화를 유도하였으며, 성충이 된 후 1-2일이 경과된 개체를 주사전자현미경 관찰에 사용하였다. 목화바둑명나방을 사육하기 위한 실내 조건은 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 온도조건과 $50\pm 20\%$ 의 상대습도, 16L : 8D의 광주조건을 유지하였다.

주사전자현미경

목화바둑명나방 암컷과 수컷 각 10개체를 준비하여, 이들을 머리와 복부부분으로 분리하여, 알루미늄 판에 conducting silver paint (Ladd Res., USA)를 이용하여 부착시킨 후, sputter coater (SCD-005, Bal-Tec., UK)에서 금으로 코팅을 하여 표본을 준비하였으며 Philips XL 30 ESEM (Philips, Netherlands)을 이용하여 관찰하였다.

결과 및 고찰

목화바둑명나방의 더듬이는 일반적으로 다른 명나방과에 속하는 나방들과 비슷한 구조를 가지고 있는데, 예를 들면, *Chilo partellus* (Hansson et al., 1995), *Ostrinia nubilalis* (Cornford et al., 1973, Hallberg et al., 1994), *Homoeosoma nebulella* (Faucheux 1991), *Conegethes punctiferalis*와 *Conegethes* sp. (Honda and Hanyu 1989), *Zamagiria dixolophella* (Castrejón Gómez et al., 2003)

등이 있다. 목화바둑명나방의 더듬이는 암수 모두 실모양(filiform)의 더듬이를 가지고 있고, 길이는 7-8 mm 정도이며, 60개 이상의 편절마디(flagellomeres)를 가지고 있다(Fig. 1). 더듬이에서 감각기들은 복부방향인 아래쪽에 주로 분포를 하고 있고 위쪽인 등 방향으로는 인편(scale)이 덮여 있는 구조를 하고 있다(Fig. 2). 인편으로 덮여 있지 않은 부분은 많은 털 감각기들이 자리 잡고 있으며, 털 감각기 주변의 나머지 공간은 마치 그물모양처럼 얽혀 있는 모습을 하고 있다(Fig. 6). 인편으로 덮여있는 아랫부분은 마치 금속 장식물이 달려 있는 듯한 모습을 나타내고 있고, 인편이 떨어져 나간 자리는 Fig. 14에서 H로 표시된 부분과 같이 구멍만을 남겨두고 있는 것으로 보아 인편이 쉽게 빠질 수 있을 것으로 보인다. 전형적으로 인편은 더듬이 표면을 따라서 감각기와 나란히 분포를 하고 있는데, Van der Pers (1981)은 추측하기를 더듬이를 보호하기 위한 것이 아니라, 감각기와 인편의 이러한 배열이 자극의 방향을 감지할 수 있는 곤충의 능력을 배가시키는 것이라고 하였다. 또한 Wall (1978)은 이러한 인편이 털 중요한 부분을 보호하기 위한 장치가 아니라, 냄새분자들을 잡아서 분자의 농도를 높이려는 기작일 수도 있다고 하였다. 그렇지만 아직까지도 이러한 인편이 왜 존재하는가에 대한 의문은 풀리지 않고 있다.

목화바둑명나방 더듬이의 제일 끝 쪽 편절마디를 보면 암수 모두 3개의 종상감각기(Ca: camaniformia sensilla)를 가지고 있으며, 주변에 긴 센털감각기(Ch: chaetica sensilla)가 암컷의 경우엔 5개가 있고(Fig. 3 & 5), 수컷의 경우엔 7개가 분포하고 있다(Fig. 4 & 6). 또한 가시돌기(Sp: spines)로 둘러싸인 돌기함몰형감각기(Cos: coelomicum sensillum around spines)가 분포하며, 수컷이 암컷보다 약간 둥근 모양을 하고 있다. 한편 수컷에만 긴 Ch가 존재하는 것은 다른 명나방과에 속하는 나방에서 보고가 되어 있는데, *C. partellus* (Hansson et al. 1995), *O. nubilalis* (Cornford et al., 1973, Hallberg et al., 1994), *H. nebulella* (Faucheux 1991), *C. punctiferalis*과 *Conegethes* sp. (Honda and Hanyu 1989), *Zamagiria dixolophella* (Castrejón Gómez et al., 2003) 등에서 보고가 되어 있다. 예를 들면, *O. nubilalis*의 경우에 털감각기의 길이와 분포수도 암수간에 차이가 난다고 하였다(Hallberg et al., 1994). 많은 종에서 수컷에 있는 이러한 긴센털감각기가 암컷의 성페르몬을 감지하는데 사용할 것이라고 추측을 하고 있다(Boekh et al., 1965; Schneider and Steinbrecht, 1968; Van der Pers and Den Otter, 1978; Kaissling, 1979; Zacharuk, 1985; Hansson et al., 1995; Castrejón Gómez

et al., 2003). *O. nubilalis*의 경우에 있어서는 암컷이 분비하는 2가지 성분의 페르몬에 반응을 보이지만, 다른 털감각기는 주된 페르몬 성분에만 반응을 보인다고 한다 (Hallberg *et al.*, 1994; Hansson *et al.*, 1994). 한편 암수 모두 각 편절마다마다 원형의 소켓(socket)을 가진 작은 형태의 센털감각기를 가지고 있으며(Fig. 11 & 12), *O. nubilalis* (Hallberg *et al.*, 1994)는 하나의 편절마다에서

가운데와 끝 부분에 하나씩의 Ch를 가지는데 냄새 감지 및 촉각의 기능을 한다고 보고되어졌다(Fig. 11 & 12). 목화바둑명나방의 경우에 이러한 기능을 담당하는지는 현재로서는 알 수 없지만, 이를 위해서는 전기생리화학적 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

한편 편절마디 제일 밑 부분인 첫 번째 마디의 경우 암컷에서는 Cos 감각기를 볼 수 있으나(Fig. 7) 수컷에서

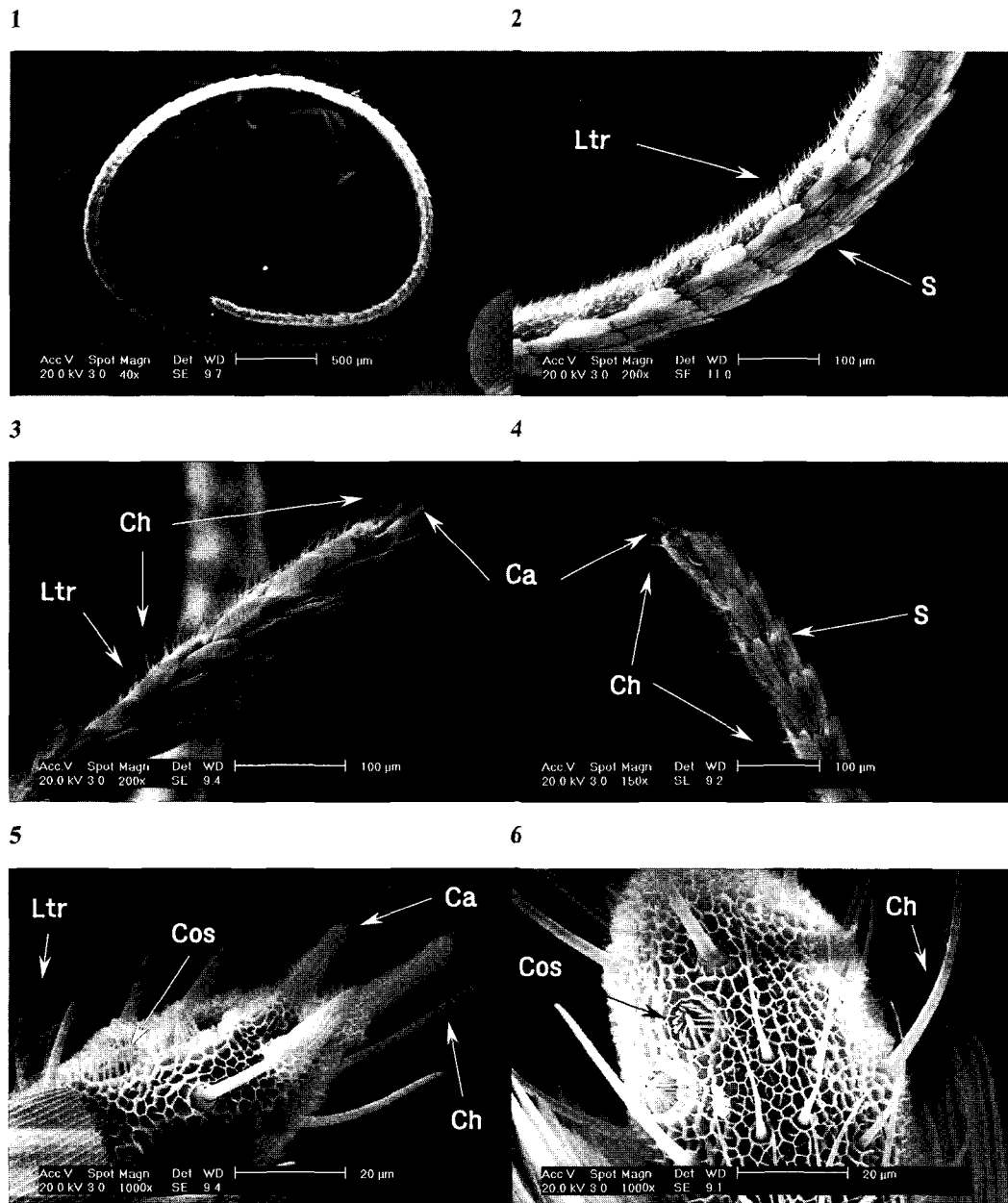


Fig. 1-6. Scanning electron micrographs of *Palpita indica* showing; 1. Female antennae. 2. Female antennae. Scales (S) occur on the dorsal part and sensilla occur on the ventral part of antennae. Female (3) and male (4) antenna show distal part with cananiformia sensilla (Ca), chaetica sensilla (Ch), long trichodea sensilla (Ltr) and scales (S). Female (5) and male (6) antenna show tip of antennae with Ca, Ch, Ltr, coeloconicum sensillum around spines (Cos) and S.

는 볼 수 없다(Fig. 8). 또한 암컷에서는 두 종류의 함몰형 감각기(Co: coeloconicum sensillum)와 Cos를 모두 볼 수가 있으나(Fig. 9) 수컷에서는 Cos가 더 많이 분포하고 있지만 Co는 찾아볼 수 없다(Fig 10). 또한 가시돌기(Sp: spines)로 둘러싸인 돌기함몰형감각기(Cos: coeloconicum sensillum around spines)의 경우에는, 수컷이 암컷보다

약간 등근 모양을 하고 있다. 돌출형감각기(St: styloconica sensilla)의 경우에는 그 수는 많이 관찰되지 않았으나 암수 모두에서 발견이 되었으며(Fig. 11 & 12), 구두주걱형 감각기(Au: auricillica sensillum)의 경우에는 수컷에서만 관찰이 되었다(Fig. 12). Au의 경우에는 수컷에서만 발견이 되는 것으로 미루어 아마도 암컷에서 분비하는 페르몬

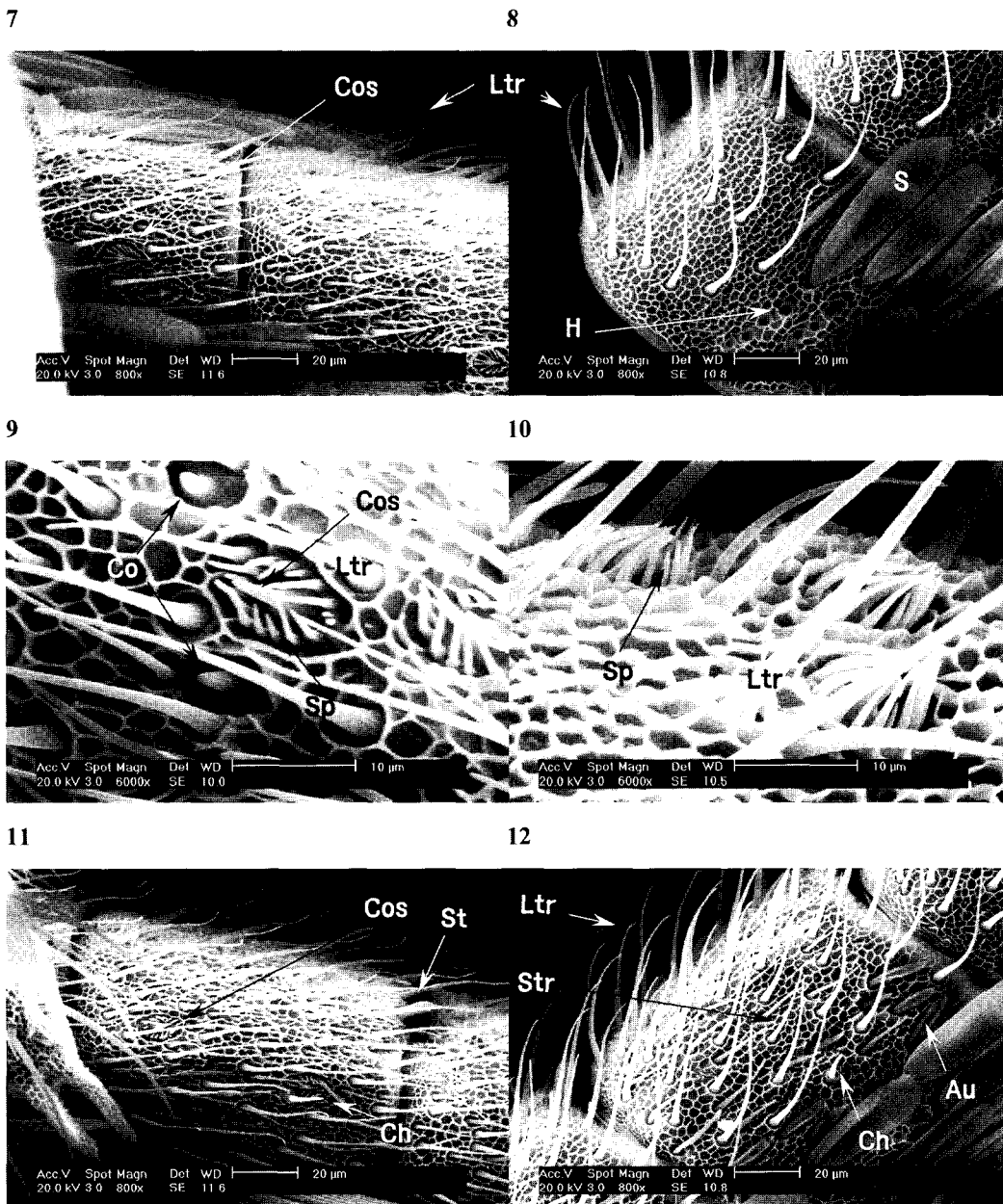


Fig. 7-12. Scanning electron micrographs of *P. indica* showing; 7 and 8. First and 2nd flagellomeres of female and male antennae, respectively. They show Ltr, Cos, S and hole of basal scales (H). 9 and 10. Ninth flagellomeres of female and male antennae. Coeloconicum sensillum (Co), Cos and Ltr are shown. 11 and 12. Fifth and 6th flagellomeres of female and male antennae, respectively. Cos, Ltr, Str, auricillica sensillum (Au) chaetica sensilla (Ch) and styloconica sensilla (St) are shown. Ltr: long trichodea sensilla; Cos: coeloconicum sensillum around spines; S: scales; Sp: spine.

을 감지하는 기능을 하고 있을 것으로 추정하기도 한다. 암수 더듬이 14번째 마디에서는 Cos가 있고 Ltr로 덮여 있음을 알 수 있다(Fig. 13 & 14). Fig 15는 수컷 더듬이의 2번째 편절마디로 Ltr과 St, Au 감각기를 볼 수 있으며, 이를 좀 더 자세히 보면 Fig. 16에서 Au 감각기가 구두주걱 모양을 하고 있는 것을 알 수 있다. 함몰형감각기의 경우 2종류가 발견되었는데, 이는 *C. partellus*에서 분포하고 있는 것과 유사하다(Hansson *et al.*, 1995). 그렇지만 다른 종에서는 Cos만이 관찰되고 있을 뿐이다(Cornford *et al.*, 1973; Honda and Hanyu, 1989; Fauchaux, 1991; Hallberg *et al.*, 1994; Hansson *et al.*, 1995). 돌기로 둘러싸인 Cos의 경우에는 후각 기능을 하는 것으로 알려졌는데, 특히 식물 휘발성 물질에 매우 민감한 것으로 알려져 있다(Van der Pers, 1981). 나방 이외의 다른 곤충에서는 온도나 습도를 감지하는 감각기로 생각되고 있다(Davis and Sokolove, 1975; Altner *et al.*, 1977). 돌출형감각기 역시 다른 명나방과 나방에서 보고가 되어 있는데, *H.*

nebullella (Fauchaux 1991), *O. nubilalis* (Cornford *et al.*, 1973; Hallberg *et al.*, 1994), *C. punctiferalis* and *Conegethes* sp. (Honda and Hanyu 1989), *Z. dixolophella* (Castrejón Gómez *et al.*, 2003) 등이다. 돌출형 감각기에 대한 기능은 여러 가지로 추정하고 있는데, 예를 들어, 밤나방과와 잎말이나방과에서는 접촉 화학감각기의 역할을 하고 있을 것이라고 하였고(Jefferson *et al.*, 1970, Albert and Seabrook 1973), 명나방과에서는 열이나 수분을 감지하는 역할을 할 것이라고 하였다(Hallberg *et al.*, 1994). 목화바둑명나방에 있는 구두주걱형감각기인 Au는 다른 곤충에서도 볼 수 있는데, *O. nubilalis*, *H. nebullella*, and *C. punctiferalis*, *Conegethes* sp., *Z. dixolophella* 등이 있다(Honda and Hanyu, 1989; Fauchaux, 1991; Hallberg *et al.*, 1994; Castrejón Gómez *et al.*, 2003). Au는 아마도 후각 기능을 담당하는 것으로 추정되고 있다(Boekh *et al.*, 1965; Kaissling, 1971; Mochizuki *et al.*, 1992).

한편, 목화바둑명나방의 교미행동을 보면, 암컷이 복부

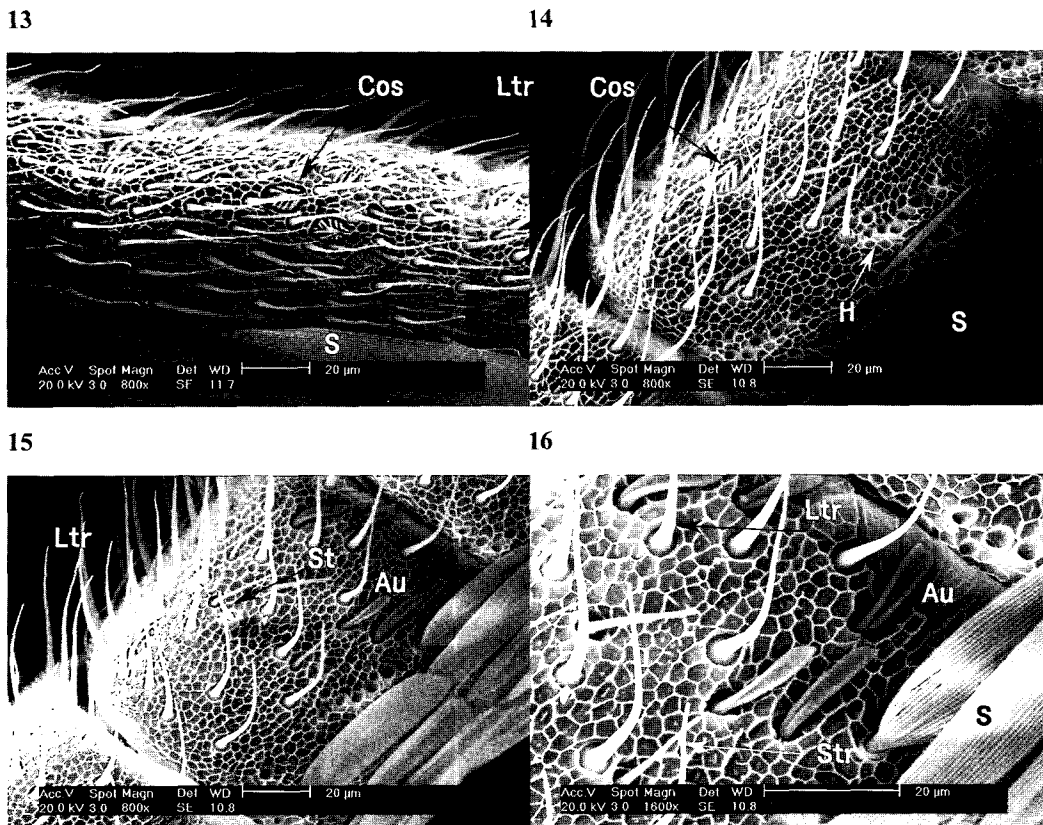


Fig. 13-16. Scanning electron micrographs of *P. indica* showing; 13 and 14. Fifteenth flagellomeres of female and male antennae. They show Ltr, Cos, S and hole of basal scales (H). 15 and 16. Second flagellomeres of male antennae. Fig. 16 is magnified with Fig. 15. Ltr: long trichodea sensilla; Str: short trichodea sensilla; Cos: coeloconicum sensillum around spines; S: scales; Au: auricillica sensillum.

에 있는 꼬리털을 접어놓고 복부를 휘면서 페르몬을 방사하면 수컷이 암컷 옆으로 날아오는 것을 볼 수 있어, 꼬리털은 목화바둑명나방의 배우자 탐색행동에 중요한 역할을 하고 있다. 암컷과 수컷의 꼬리털은 실타래 모양의 많은 털을 가지고 있으며(Fig. 17 & 18), 수컷의 꼬리털 뭉치가 암컷보다 좀 더 큰 양상을 보이고 있다. 이들 털 실타래 모양을 확대하여 보면 Fig. 19와 20에서 볼 수 있는 바와 같이 곱이 파인 형태를 취하고 있으며, 이들 가운데

는 곱에 구멍이 있는 털도 볼 수 있는데, 암컷(Fig. 21)보다는 수컷(Fig. 22)이 훨씬 많은 구멍을 가지고 있다. 암컷과 수컷 모두 꼬리털을 확대 관찰했을 때, 평행한 곱을 가지고 있었는데 이러한 형태는 암컷에서 Pheromone 분자의 효과적인 확산과 관련이 되어져 있으며, 또한 수컷의 구멍은 암컷의 구애과정에서 발산된 pheromone 분자를 끌어들이고 보관하는데 유리한 구조로 생각되어 진다.

이상의 결과로 우리는 목화바둑명나방의 더듬이와 꼬

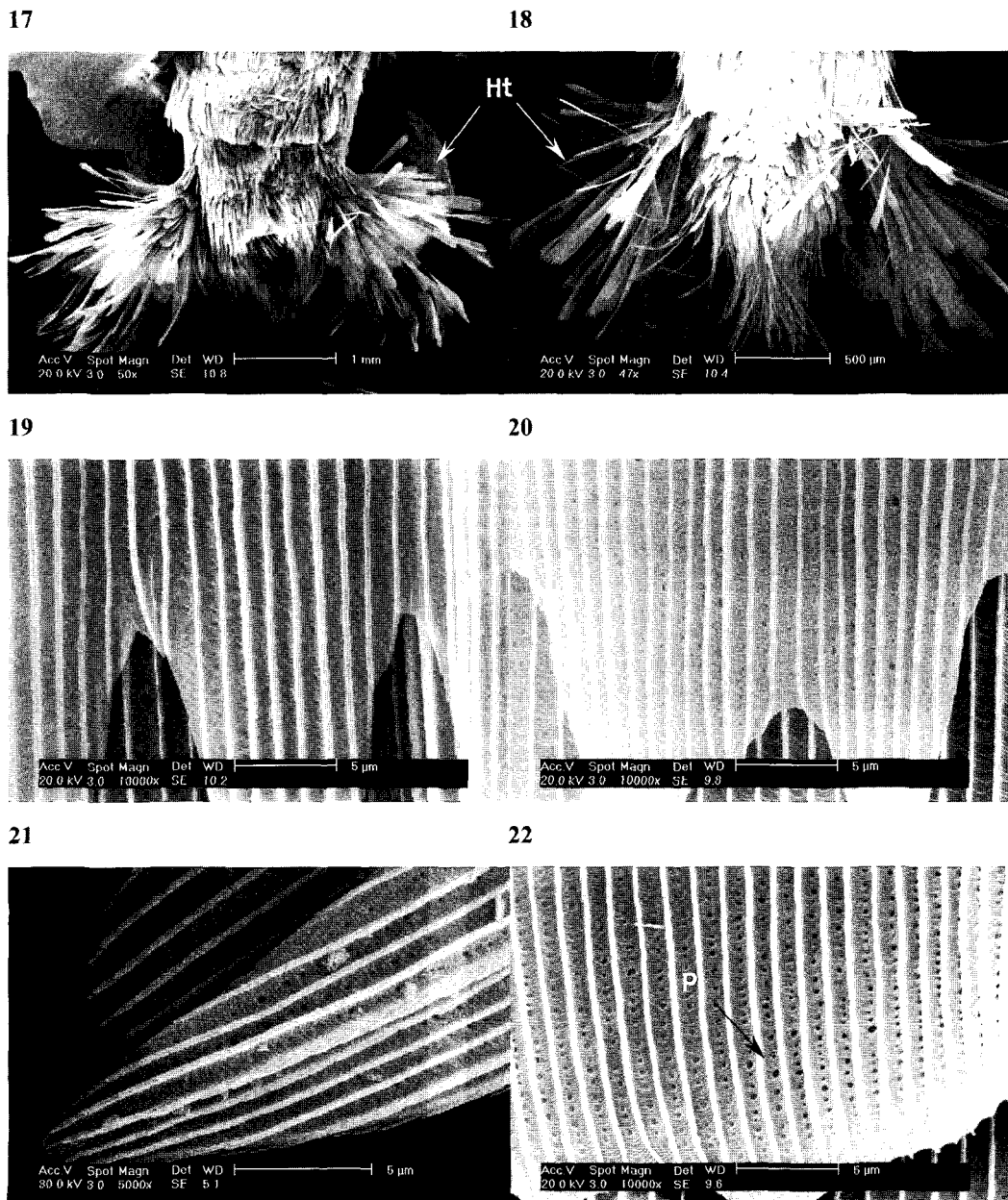


Fig. 17-22. Scanning electron micrographs showing; abdominal tips of female (17) and male (18). Abdominal tips of female and male have a lot of hair tufts (Ht) with strip line (19 & 20). Hair tufts of male (22) have a lot of pores (P) than female (21).

리털의 서로 다른 구조를 확인할 수 있었으며, 앞으로 전기생리학적인 연구를 통하여 감각기들의 기능이 배우자를 찾기 위한 것인지 혹은 먹이와 관련된 식물휘발성물질을 탐색하기 위한 것인지를 밝혀내는데 도움을 줄 것으로 생각된다.

Literated Cited

- Albert, P.J. and W.D. Seabrook. 1973. Morphology and histology of the antenna of the male eastern spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. J. Zool.* 4: 443-448.
- Altner, H., H. Sas and I. Altner. 1977. Relationship between structure and function of antennal chemo-, hygro- and thermo-receptive sensilla in *Periplaneta americana*. *Cell Tissue Res.* 176: 389-405.
- Baker, T.C., R. Nishida, W.L. Roelofs. 1981. Close-range attraction of female oriental fruit moths to herbal scent of male hairpencils. *Sci.* 214: 1359-1361.
- Birch, M.C. 1970. Structure and function of the pheromone-producing bruch-organs in males of *Phlogophora meticulosa* (L.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Trans. R. Entomol. Soc. Lond.* 122: 277-292.
- Birch, M.C. and A. Hefetz. 1987. Extrusible organ in male moths and their role in courtship behavior. *Bull. Entomology. Soc. Am.* 33: 222-229.
- Boekh, J., K.E. Kaissling and D. Schneider. 1965. Insect olfactory receptors. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 30: 263-280.
- Castrejón Gómez, V.R., G. Nieto, J. Valdes, F. Castrejón and J.C. Rojas. 2003. The Antennal sensilla of *Zamagiria dixolophella* Dyar (Lepidoptera: Pyralidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 96(5): 672-678.
- Chen, Q. 1999. The Control effects of insecticides to *Aphis gossypii* Glover and *Diaphania indica* (Saunders). *Chin. J. Pesti.* 38(1): 25-27.
- Choi, D.C., J.J. Noh and K.R. Choe. 2003a. Oviposition and feeding preference of the cotton caterpillar, *Palpita indica* (Lepidoptera: Pyralidae), in Cucurbitaceae. *Kor. J. Appl. Entomol.* 42(2): 119-124.
- Choi, D.C., J.J. Noh, K.K. Lee and H.S. Kim. 2003b. Hibernation and seasonal occurrence of the cotton caterpillar, *Palpita indica* (Lepidoptera: Pyralidae), in watermelon. *Kor. J. Appl. Entomol.* 42(2): 111-118.
- Cornford, M.F., W.A. Rowley and J.A. Klun. 1973. Scanning electron microscopy of antennal sensilla of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 66: 1079-1088.
- Davis, E.E. and P.G. Sokolove. 1975. Temperature responses of antennal receptors of the mosquito *Aedes aegypti*. *J. Comp. Physiol.* 6: 223-236.
- Faucheux, M.J. 1991. Morphology and distribution of sensilla on the cephalic appendages, tarsi and ovipositor of the European sunflower moth, *Homoeosoma nebulella* Den. and Shiff. (Lepidoptera: Pyralidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 20: 291-307.
- Gyoutoku, Y. and T. Yokoyama. 2003. Insecticide susceptibility of the cotton caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders), collected in Kumamoto. *Proc. Asso. Plant Prot. Kyushu.* 49: 96-100.
- Gyoutoku, Y., T. Kashio and T. Yokoyama. 2004. Physical control of the cotton caterpillar, *Diaphania indica* and the corn earworm, *Helicoverpa armigera*, by insect-proof nets on greenhouse melon. *Proc. Asso. Plant Prot. Kyushu.* 50: 66-71.
- Hallberg, E., B.S. Hansson and R.A. Steinbrecht. 1994. Morphological characteristics of antennal sensilla in the European corn borer *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Tissue Cell.* 26: 489-502.
- Hansson, B.S. 1995. Reviews. Olfaction in Lepidoptera. *Experientia.* 51: 1003-1027.
- Hansson, B.S., A. Blackwell, E. Hallberg and J. Löfqvist. 1995. Physiological and morphological characteristics of the sex pheromone detecting system in male corn stemborers, *Chilo partellus* (Lepidoptera:Pyralidae). *J. Insect Physiol.* 41: 171-178.
- Hansson, B.S., E. Hallberg, C. Löfsted and R.A. Steinbrecht. 1994. Correlation between dendrite diameter and action potential amplitude in sex pheromone specific receptor neurons in male *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Tissue Cell.* 26: 503-5112.
- He, S.H., B.J. Han and L.X. Peng. 2007. Bioactivity of the crude extract from neem seed against *Diaphania indica* (Saunders). *Chin. J. Pesti.* 46(2): 129-131).
- Honda, H. and K. Hanyu. 1989. Scanning electron microscopy of antennal sensilla of the yellow peach moth, *Conegethes punctiferalis* (Guenée) and *Conegethes* sp. (Lepidoptera: Pyralidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 33: 238-246.
- Jefferson, R.N., R.E. Rubin, S.U. McFarland and H.H. Shorey. 1970. Sex pheromones of noctuid moths, XXII. The external morphology of the antennae of *Trichoplusia ni*, *Heliothis zea*, *Prodenia ornithogally* and *Spodoptera exigua*. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 63: 1227-1238.
- Kaissling, K.E. 1971. Insect olfaction, pp. 351-431. In L.M. Beidler (ed.), *Handbook of Sensory Physiology*, Vol. IV, Chemical Senses, 1, Olfaction. Springer, Berlin.
- Kaissling, K.E. 1979. Recognition of pheromones by moths, especially in saturniids and *Bombix mori*, pp. 43-56. In F.J. De Ritter (ed.), *Chemical Ecology: Odour Communication in Animals*. Elsevier, Amsterdam.
- Kim, H.H., H.Y. Choo, C.G. Park, S.M. Lee and Y.M. Choo. 2001. Biological control of cotton caterpillar, *Palpita indica* Saunder (Lepidoptera: Pyralidae) with entomopathogenic nematodes. *Kor. J. Appl. Entomol.* 40(3): 245-252.
- Kim, S.K., M.H. Kim, S.S. Hong and J.S. Yang. 1994. Experimental studies on the chemical control of cotton aphid, *Aphis gossypii* and cotton caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Res. Rept. Kyonggi Prov. RDA* pp. 490-502.
- Kinjo, K. and N. Arakaki. 1997. Mating Behavior of the Cotton Caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Appl. Entomol. Zool.* 32(4): 641-643.
- Kinjo, K. and N. Arakaki. 2002. Effect of temperature on development and reproductive characteristics of *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Appl. Entomol. Zool.* 37(1): 141-146.
- Kobayashi, Y. 1977. Abdominal brush-organs in Japanese noctuids. *Kontyu Tokyo.* 45: 510-525.

- Krishnamoorthy, A., N. Rama and M. Mani. 2004. Record of *Dolichogenidea stantoni* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae), a larval parasitoid of pumpkin caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Biol. Con.* 18(2): 205-206.
- Mochizuki, F., N. Sugi and T. Shibuya. 1992. Pheromones sensilla of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl. Ent. Zool.* 4: 547-556.
- Narayanan, K. and K. Veenakumari. 2003. Report on the occurrence of nuclear polyhedrosis virus on gherkin caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Symp. Biol. Con. Lepidop. Pests, 2003.* pp. 169-170.
- Peter, C. and B.V. David. 1991. Population dynamics of the pumpkin caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae). *Trop. Pest Manag.* 37: 75-79.
- Qin, Y.J., W.J. Wu and S.S. Huang. 2001. Studies on anti-feeding actions of several essential oils against *Diaphania indica* (Saunders). *Plant Protec.* 27(6): 4-6.
- Schneider, D. and R.A. Steinbrecht. 1968. Check list of insect olfactory sensilla. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 23: 279 -297.
- Shin, W.K., G.H. Kim, C. Song, J.W. Kim and K.Y. Cho. 2000. Effect of temperature on development and reproduction of the cotton caterpillar, *Palpita indica* (Lepidoptera: Pyralidae). *Kor. J. Appl. Entomol.* 39(3): 135-140.
- Shin, W.K., G.H. Kim, N.J. Park, J.W. Kim and Cho, K.Y. 2002. Effect of host plants on the development and reproduction of cotton caterpillar, *Palpita indica* (Saunders). *Kor. J. Appl. Entomol.* 41(3): 211-216.
- Van der Pers, J.N.C. 1981. Comparison of electroantennogram response spectra to plant volatiles in seven species of *Yponomeuta* and in the tortricid *Adoxophies orana*. *Entomol. Exp. Appl.* 30: 181-192.
- Van der Pers, J.N.C. and C.J. Den Otter. 1978. Single cell responses from olfactory receptors of small ermine moths (Lepidoptera: Yponomeutidae) to sex attractants. *J. Insect Physiol.* 24: 337-343.
- Visalakshy, P.N.G. 2005. Natural enemies of *Diaphania indica* (Saunders) (Pyralidae: Lepidoptera) in Karnataka. 30(3): 261-262.
- Wakamura, S., N. Arakaki, K. Kinjo and T. Yasuda. 1998. Sex pheromone of the cotton caterpillar, *Diaphania indica* (Saunders) (Lepidoptera: Pyralidae): Identification and field attraction. *Appl. Entomol. Zool.* 33(3): 429-434.
- Wall, C. 1978. Morphology and histology of the antenna of *Cydia nigricana* (F.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 7: 237-250.
- Zacharuk, R.Y. 1985. Antennae and sensilla, pp. 1-69. *In* G.A. Kerkut and L.Y. Gilbert (eds.), *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, vol. 6. Pergamon Press, Oxford.

(Received for publication August 15 2007;
accepted August 24 2007)