

팥나방(*Matsumuraeses phaseoli*) (나비목: 잎말이나방과)의 우화와 교미 행동

조점래 · 정진교^{1*} · 양창열² · 서보윤 · 염기홍

국립농업과학원, ¹국립식량과학원, ²국립원예특작과학원

Eclosion and Mating Behavior of *Matsumuraeses phaseoli* (Matsumura) (Lepidoptera: Tortricidae)

Jum Rae Cho, Jin Kyo Jung^{1*}, Chang Yeol Yang², Bo Yoon Seo and Ki Hong Yum

Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, RDA

¹Crop Environment Research Division, National Institute of Crop Science, RDA

²Horticultural Environmental Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA

Abstract: The adzuki pod worm, *Matsumuraeses phaseoli* (Matsumura) is an insect pest that attacks the flowers and pods of *Vigna angularis*. The circadian rhythms of eclosion and mating, and the effects of age and antenna ablation on mating success, were investigated. With a photoperiodic regime of 16:8 (Light:Dark) h, most adult eclosion was observed within 4 h after lights-on. Most adult mating was observed during the scotophase, although some occurred within 2 h after lights-on. However, the adults did not copulate on the day of emergence. The mating rate increased with adult age: being higher in the 4-d-old adult pairs than pairs of lower age. Most of the antennectomized males or females did not copulate with normal individuals of the opposite sex.

Key words: *Matsumuraeses phaseoli*, Eclosion, Mating, Circadian rhythm, Adult age, Antennectomy

초 록: 팥나방(*Matsumuraeses phaseoli*, (Matsumura))은 팥의 꽃과 꼬투리를 가해하는 해충이다. 본 연구에서는 팥나방 성충 우화와 교미 시간대, 성충 나이 및 더듬이 제거가 교미에 미치는 영향을 조사하였다. 성충 우화는 16L:8D 광 조건에서 불이 켜지고 4시간 이내에 대부분 이뤄졌다. 대부분의 교미가 암 기간 동안 이뤄졌으나, 불이 켜진 직후에도 교미하는 개체들이 일부 관찰되었다. 우화 당일의 성충은 교미를 하지 않았으나 우화 후 4일된 성충의 교미율이 가장 높았다. 더듬이가 제거된 수컷 또는 암컷은 더듬이가 제거되지 않은 반대 성의 정상 성충과 교미를 하지 못하였다.

검색어: 팥나방, 우화, 교미, 일일주기성, 성충 나이, 더듬이 제거

팥나방(*Matsumuraeses phaseoli* (Matsumura))은 국내에서 팥(*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi)의 꽃과 꼬투리에 심한 피해를 주는 해충이다(Jung et al., 2009). 이 곤충은 국내에서 2004년까지 같은 속에 보고된 유일한 종이였지만, 이후 성페로몬을 검토하는 중에 수컷 생식기 모양의 차이에 근거하여 동속종으로 어리팥나방(*M. falcana*)이 존재한다고 보고되었다(Byun et al., 2005). 이후 두 종이 시토크롬 c 옥시다제 유

전자 염기서열에 차이를 보이는 것이 밝혀져(Hoe et al., 2009; Seo et al., 2012), 서로 생식적으로 격리된 다른 종일 것임을 추정하고 있다. 어리팥나방에 대해서는 교미행동과 성페로몬이 보고되었고(Wakamura, 1985; Wakamura and Kegasawa, 1986), 국내 서식 집단에서도 그 성페로몬 조성과 역할이 확인되었다(Cho et al., 2007). 그러나 팥나방의 교미행동이나 성페로몬에 대한 연구정보가 없어 성충 발생시기와 정도를 예측하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 팥나방의 성페로몬을 탐색하기 위한 기초연구로 우화 및 교미의 일일주기성, 성충 나이별 교미율 및 더듬이 제거가 교미에 미치는 영향을 조사하였다.

*Corresponding author: jungjk@korea.kr

Received March 13 2013; Revised July 1 2013

Accepted July 30 2013

재료 및 방법

시험곤충 및 화합물질

팔나방(*Matsumuraeses phaseoli* (Matsumura)) 유충을 2004년 경기도 수원시 서둔동 소재 국립식량과학원 팥 포장(37°16'N 126°59'E)에서 채집하여 실내 사육실(온도 25±1°C, 상대습도 60±10%, 광주기 16L:8D)로 가져와 인공사료(Jung et al., 2007)로 사육하였다. 인공사료는 한천(agar) 13 g, 포도당(glucose) 19 g, 셀룰로스(cellulose) 10 g, 밀배아(wheat germ) 10 g, 적두 가루(red bean flour) 20 g, 대두콩 가루(soybean flour) 75 g, 카제인(casein) 10 g, 콜레스테롤(cholesterol) 3 g, 베타-시토스테롤(β -sitosterol) 1 g, 메틸파라벤(methyl-p-hydroxybenzoate) 1.5 g, 오레오마이신(aureomycin) 0.5 g, 푸미딜-B(Fumidil B)(CEVA SANTE ANIMALE) 0.4 g, 종합비타민(vitamin mixture) 5 g, 아스코르브산(ascorbic acid) 4 g, 소르브산(sorbic acid) 1 g, 증류수(distilled water) 800 mL로 제조하였다. 번데기로 암수를 구별하여 각기 다른 사육상자(26 × 30 × 20 cm)에 두고, 매일 우화하는 성충은 나이별로 각기 다른 사육상자에 보관하면서 실험에 사용하였다. 성충의 먹이로 10% 설탕물과 증류수를 제공하였다.

우화시간, 교미시간대 및 나이별 교미율 조사

성충 우화시간을 조사하기 위해 약 100마리의 번데기 암수를 구별하여 2개의 상자(26 × 30 × 20 cm) 안에 각각 두고, 6일 동안 각 상자에서 우화하는 성충 수를 1시간 간격으로 육안으로 조사하여 2시간 간격으로 자료를 정리하였다. 각 시간대에 관찰된 성충 수를 합하여 우화한 성충 전체수에 대한 백분율로 하루 중 우화시간대를 산출하였다. 암 조건에서는 성충의 우화에 영향을 주지 않기 위해 적색필터를 부착한 손전등을 이용하여 관찰하였다.

암수를 미리 분리하여 둔 번데기 상자에서 매일 우화한 성충을 사육상자(26 × 30 × 20 cm)에 암수 따로 넣고, 교미실험에 사용할 때까지 10% 설탕물 및 증류수를 제공하였다. 성충의 나이는 우화 후 24시간 이내의 개체는 0일로 하여 일단위로 기술하였다. 교미실험은 사육조건과 같은 환경조건에서 수행하였는데, 먼저 같은 나이의 암수 성충 30쌍 이상을 한 상자(26 × 30 × 20 cm)에 넣고 10% 설탕물 및 증류수를 제공하였다. 불이 꺼지기 1시간 전까지 준비하여 24시간 동안 1시간 간격으로 교미하고 있는 성충 쌍의 수를 육안으로 조사하였다. 암 조건에서 관찰할 때는 적색필터를 부착한 손전등을 이용하였다. 우화 후

0~4일 성충을 일일(一日) 나이별로 교미시켰고, 3반복으로 실험하였다. 교미에 성공한 성충 쌍의 수는 시도된 수에 대한 백분율로 산출하였고, 시간대별 관찰된 교미쌍 수는 동일 나이의 전체 교미성공 쌍 수에 대한 백분율로 산출하였다.

더듬이 제거 성충의 교미율 조사

성충을 얼음판 위에 올려놓고 예리한 가위로 더듬이 밑마디(antennal scape)까지 완전히 제거하였다. 더듬이를 제거한 우화 후 2, 4 및 5일된 수컷과 안테나를 제거하지 않은 정상 동등한 나이의 암컷을 사육상자(26 × 30 × 20 cm)에 넣고 10% 설탕물과 증류수를 공급하면서 교미쌍을 이루는 정도를 조사하였다. 교미 12시간 후에 암컷을 해부현미경(Nikon SMZ-10-TD, Japan) 아래에서 복부를 절개하여 교미낭(bursa copulatrix) 내부의 정자주머니(spermatophore) 존재여부를 확인하여 최종 교미율을 계산하였다. 반복별로 전체 13~20쌍씩 처리되었는데, 우화 후 1, 3일 성충은 3반복, 우화 후 4일 성충은 2반복으로 실험하였다. 암컷 더듬이 제거 후 교미실험의 경우에는 우화 후 2일된 암컷 더듬이를 1개 제거한 것과 2개 모두 제거한 것을 구분하여 교미정도를 조사하였다. 이때 반복별로 전체 14~19쌍씩 처리되었고, 전체 4반복으로 실험하였다. 교미율은 위에서 제시한 방법과 마찬가지로 교미쌍 수와 교미낭 내부에 정자주머니의 존재여부를 확인하여 최종 교미율을 계산하였다.

통계분석

나이별 교미율 조사와 더듬이 제거 실험결과는 SAS 프로그램(version 9.2)의 PROC GLM을 이용하여 분산 분석하였으며, 평균간 비교에서 나이별 교미율은 Tukey 검정을, 더듬이 제거 효과는 Dunnett 검정을 수행하였다.

결과 및 고찰

우화 및 교미의 일일주기성

암컷 일부가 암 기간 동안에 우화하는 것이 관찰되었으나 암수 모두 대부분의 개체는 불이 켜지고 4시간 이내에 우화하였다(Fig. 1). 또한 암수 모두 불이 켜진 후 2~4시간 사이에 가장 많이 우화하여 우화시간대는 암수 사이에 큰 차이가 없었다. 곤충의 우화행동이 일일주기성을 보이는 것은 일정시간 간격으로 밤낮을 인지하는 곤충시계의 조절 때문으로 생각되고 있다(Saunders et al., 2002). 예를 들어, 담배나방(*Helicoverpa assulta*) (밤나방

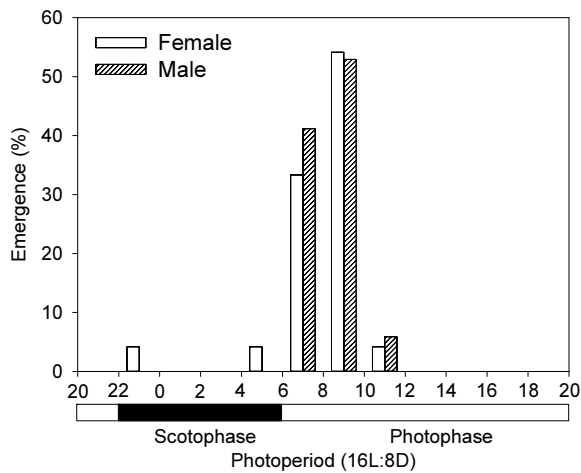


Fig. 1. Circadian rhythm of eclosion in *M. phaseoli* adults. Approximately 100 adults were introduced into a cage, and emergence was observed over 6 d.

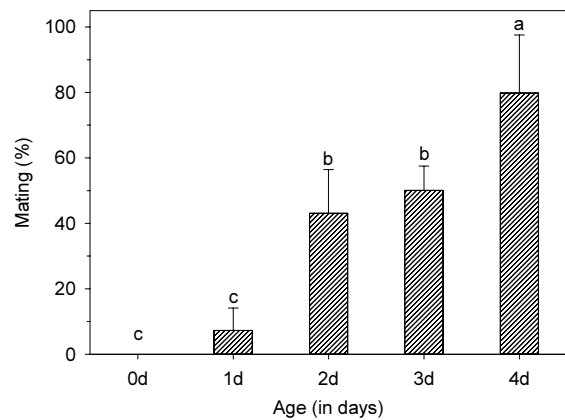


Fig. 2. The mating rate in *M. phaseoli* of five different ages. Means (\pm SD) sharing the same letter are not significantly different (Tukey test at $\alpha = 0.05$). For mating at each adult age, more than 30 adult pairs were introduced into a cage, and three cages were replicated. Mating was observed for 24 h.

과)이 16L:8D 광 조건에서 불이 꺼진 3시간 이내에 대부분 우화하였고(Cho and Boo, 1988), 조명나방(*Ostrinia furnacalis*) (포충나방과)에서는 같은 광 조건에서 불이 꺼지기 전후 각 1시간 사이에 가장 많이 우화하였다(Park and Boo, 1994). 따라서 팔나방의 우화행동도 밤낮 주기의 환경자극에 대한 고유한 생리반응으로 일일주기성을 따를 것으로 생각된다.

팔나방은 우화 당일에는 교미하지 않았다(Fig. 2). 우화 후 1일 된 성충의 경우 적은 수의 성충이 교미하였으나 우화 당일의 교미율과 유의한 차이는 없었다. 그러나 우화 후 2일과 3일 된 성충의 교미율은 유의하게 증가하였고, 우화 후 4일째 된 성충의 교미율이 가장 높아서 나이가 많아질수록 교미율이 높아지는 경향을 보였다($F = 26.92, P < 0.001$). 이 결과로 팔나방 성충이 우화

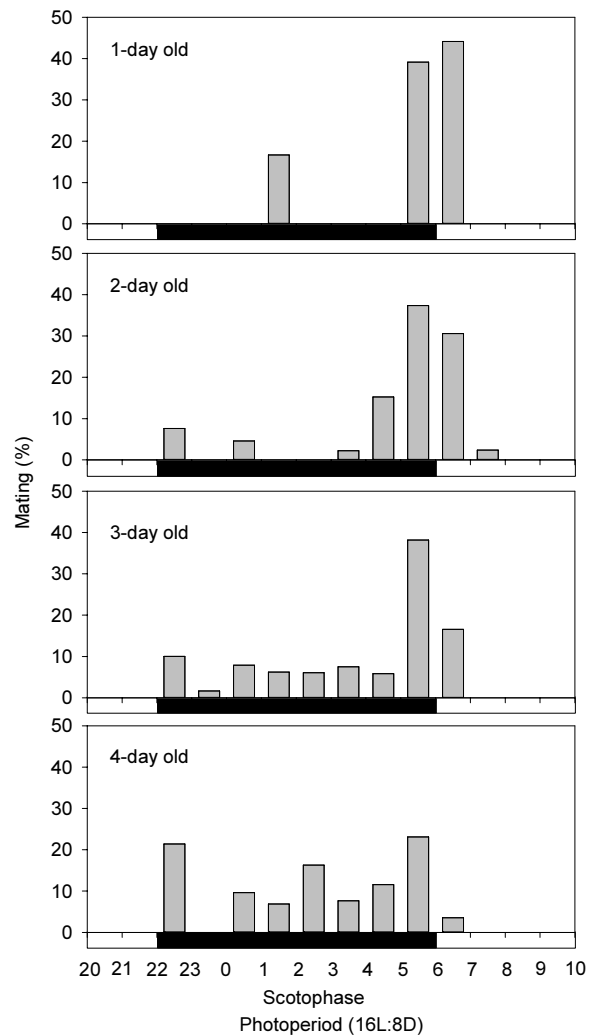


Fig. 3. Mating patterns in *M. phaseoli* of five different ages. For mating at each adult age, more than 30 adult pairs were introduced into a cage, and mating was observed for 24 h.

후 4일 이후에 성적 성숙이 피크에 달하는 개체가 많을 것으로 추정되었다. 그러나 본 연구에서 성충 나이 5일 이후의 교미율에 대해서는 검토하지 못해 위 결과에 대해 직접적 근거를 제시할 수는 없었다. 그러나 이 결과를 간접적으로 뒷받침하는 것으로 25°C에서 사육된 팔나방 암컷의 산란전 기간이 평균 7일 정도였다는 보고(Jung et al., 2007)가 있어, 4일 이후의 성충도 교미가 활발할 것이 예상되었다.

교미도 일일주기성을 보였다. 암조건 상태에서 교미하는 비율이 높았는데, 우화 후 1~3일 된 성충은 암 조건 후반부에 교미율이 높았다(Fig. 3). 한편 우화 후 1~2일 된 성충에서는 불이 꺼진 후에도 교미를 하는 비율이 높았는데, 나이가 들어감에 따라 그 비율이 감소하고, 거꾸로 암조건 전반부에 교미율이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 이와 같은 팔나방의 교미 양상과는

약간 다르게 동속종인 어리팔나방에서는 우화 후 3~5일된 성충이 16L: 8D 조건에서 불이 켜지기 1시간 30분전부터 불이 켜진 후 2시간까지 교미가 관찰되었고, 불이 켜지기 직전에 교미 피크가 관찰되었다는 보고가 있다(Wakamura, 1985).

더듬이 제거가 교미에 미치는 영향

더듬이가 제거된 수컷과 정상 암컷의 교미에서, 우화 후 1일된 성충에서는 전혀 교미를 하지 못하였고, 우화 후 3일과 4일된 성충에서는 매우 낮은 비율의 교미쌍이 관찰되었다(Fig. 4). 우화 후 3, 4일된 성충들의 교미율은 같은 나이의 정상 개체들의 교미율보다 유의하게 낮았다(3일 성충 $F = 167.37$, $P < 0.0001$; 4일 성충 $F = 36.48$, $P = 0.0018$). 우화 후 1일 성충은 교미하지 못하였으나 같은 나이의 정상 개체의 교미율도 매우 낮아 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($F = 5.56$, $P = 0.0564$). 한편 더듬이를 제거한 암컷과 정상 수컷과 교미를 시킨 경우는 우화 후 2일된 성충을 사용하였는데, 더듬이 하나만을 제거한 경우는 정상 개체의 교미율에 비해 유의한 차이는 보이지 않았다($F = 0.56$, $P = 0.4890$). 그러나 더듬이를 2개 다 제거했을 때는 정상 개체에 비해 유의하게 낮은 교미율을 보였다($F = 28.69$, $P = 0.0030$) (Fig. 5). 이 결과는 팔나방 암수 모두 더듬이의 기능을 잃어버렸을 때, 정상적인 교미가 방해되기 때문인 것으로 생각된다.

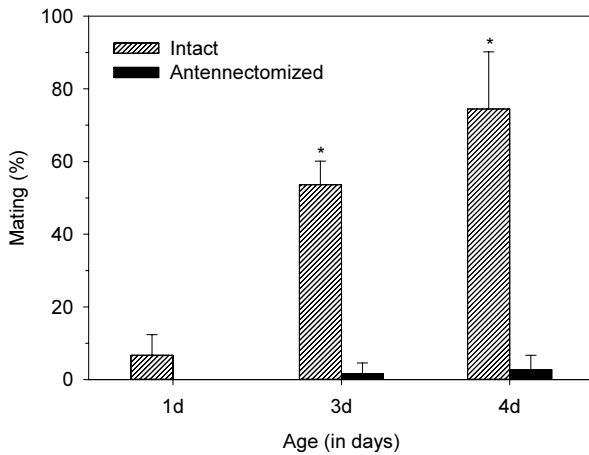


Fig. 4. Mating rates of antennectomized males mated with normal females of three different ages. The asterisk (*) above the standard deviation bars indicates a significant difference between means (Dunnett test at $\alpha = 0.05$). For each replicate, 13~20 adult pairs were introduced into a cage, and mating was observed for 24 h. Cages containing 1- and 3-d-old adults were each replicated three times, whereas two replicates were used for the 4-d-old adults.

많은 나방류의 수컷 더듬이에는 교미에 사용되는 성페로몬 감각기관이 존재하기 때문에(Mustaparta, 1984), 이 기능을 상실하였을 때, 교미에 관련된 일련의 수컷 행동이 작동하지 않고 결국 암컷과의 교미가 쉽게 이루어지지 않을 것으로 예상된다. 유사한 예로 *Earias vittella*(밤나방과) 수컷의 더듬이가 제거되었을 때도 거의 교미를 하지 못한다는 보고가 있다(Pathak and Krishna, 1986). 또한 수컷 더듬이 감각기 기능이 뚜렷하게 밝혀져 있는 만큼 촉각전도도 검정을 통해 성페로몬 동정에 수컷 더듬이가 직접적으로 이용되고 있다(Roelofs, 1984). 이와 같이 팔나방 수컷 더듬이 제거가 교미율 저하로 이어진 것은 결국 암컷이 분비하는 성페로몬 감각과정의 교란된 결과로 추정되었다.

그런데 암컷이 성페로몬을 분비하는 나방류에서 교미과정 중 암컷 더듬이가 하는 역할은 불분명하다. 수컷 냄새나 접촉감각에 관련되어 암컷을 받아들이는 역할을 할 것으로 추정되고 있지만 관련된 메커니즘이 밝혀져 있지 않은 상태이다. 본 연구의 결과와 유사하게 *Heliothis virescens*(밤나방과) 암컷 더듬이 제거는 교미율 저하로 이어졌는데, 이는 수컷의 가늘땀치(hairpencil)로부터의 교미와 관련된 냄새를 감각하지 못하는 것으로 추정하였고(Hillier and Vickers, 2004), 화랑곡나방(*Plodia interpunctella*)(명나방과) 암컷 더듬이 제거도 교미율의 저하로 이어졌는데, 이 역시 수컷 날개샘에 있는 수컷 성페로몬 감각과정 상실로 추정하였다(Grant, 1974). 그러나 본 연구의 결과로 팔나방 암컷 더듬이의 역할을 판단하기는 불분명

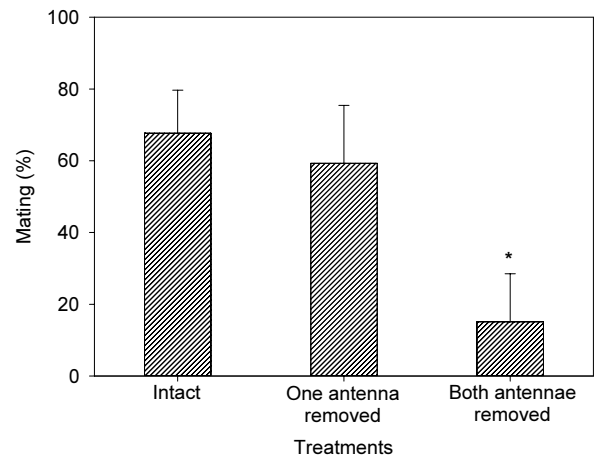


Fig. 5. Mating rates of the antennectomized females mated with normal males at 2 d of ages. The asterisk (*) above the standard deviation bars indicates a significant difference between means (Dunnett test at $\alpha = 0.05$). For each replicate, 14~19 adult pairs were introduced into a cage, and the treatment was replicated four times. Mating was observed for 24 h.

하여 앞으로 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이상으로 팔나방은 낮 시간대 초반에 우화하고, 밤 시간 후반에 교미를 하는 일일주기성을 갖고 있었으며, 우화 후 적어도 4일까지는 성충의 나이가 들어갈수록 교미율이 높아진다는 것을 알았다. 본 연구의 결과는 성적으로 성숙된 성충의 나이와 성페로몬 분비 시간대에 대한 간접적인 정보를 제공하고, 향후 팔나방 성페로몬 동정 연구에 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(PJ008692, PJ008695)를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다.

Literature Cited

- Byun, B.K., Park, K.T., Park, Y.M., 2005. Review of the genus *Matsumuraeses* Issiki (Lepidoptera, Tortricidae) with discovery of *M. falcana* (Walsingham) in Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.* 8, 117-122.
- Cho, J.R., Boo, K.S., 1988. Behavior and circadian rhythm of emergence, copulation and oviposition in the oriental tobacco budworm, *Heliothis assulta* Guenee. *Korean J. Appl. Entomol.* 27, 103-110.
- Cho, J.R., Choi, K.S., Jung, J.K., Park, J.H., Seo, B.Y., 2007. Development of sex pheromone trap for monitoring *Matsumuraeses falcana* (Walshingham) (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Asia-Pac. Entomol.* 10, 345-349.
- Grant, G.G., 1974. Male sex pheromone from the wing glands of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* (Hbn.) (Lepidoptera: Phycitidae). *Experientia* 30, 917-918.
- Heo, H., Son, Y., Seo, B., Jung J., Kim, Y., 2009. A molecular marker discriminating the soybean podworm, *Matsumuraeses phaseoli* and the podborer, *M. falcana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 547-551.
- Hillier, N.K., Vickers, N.J., 2004. The role of heliothine hairpencil compounds in female *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) behavior and mate acceptance. *Chem. Senses* 29, 499-511.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Park, J.H., Moon, J.K., Choi, B.S., Lee, Y.H., 2007. Developmental characteristics of soybean podworm, *Matsumuraeses phaseoli* (Lepidoptera: Tortricidae) and legume pod borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Pyralidae) on semi-synthetic artificial diets. *Korean J. Appl. Entomol.* 46, 393-399.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Cho, J.R., Kwon, Y.H., Kim, G.H., 2009. Occurrence of lepidopteran insect pests and injury aspects in adzuki bean fields. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 29-35.
- Mustaparta, H., 1984. Olfaction, in: Bell, W.J., Carde, R.T. (Eds.), *Chemical ecology of insects*. Chapman and Hall, London, pp.37-70.
- Park, J.W., Boo, K.S., 1994. Calling behavior and sex pheromone gland of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenee) (Lepidoptera: Pyralidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 33, 66-73.
- Pathak, P.H., Krishna, S.S., 1986. Variation in the reproductive capacity of *Earias vittella* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) following antennectomy or alactomy in males or wing loss in both sexes. *Proc. Indian Acad. Sci. (Anim. Sci.)*, 95, 613-616.
- Roelofs, W.L., 1984. Electroantennogram assays: rapid and convenient screening procedures for pheromones. in: Hummel, H.E., Miller, T.A. (Eds.), *Techniques in pheromone research*. Springer-Verlag, New York, pp.131-159.
- Saunders, D.S., Vafopoulou, X., Steel, C.G.H., Lewis, R.D., 2002. *Insect clocks*. 3rd ed., Elsevier Science, Amsterdam.
- Seo, B.Y., Jung, J.K., Cho, J.R., Kim, Y., Park, C.G., 2012. A PCR method to distinguish *Matsumuraeses phaseoli* from *M. falcana* based on the difference of nucleotide sequence in the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I. *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 365-370.
- Wakamura, S., 1985. Identification of sex-pheromone components of the podborer, *Matsumuraeses falcana* (Walshingham) (Lepidoptera: Tortricidae). *Appl. Entomol. Zool.* 20, 189-198.
- Wakamura, S., Kegasawa, K., 1986. Sex pheromone of the podborer, *Matsumuraeses falcana* (Walshingham) (Lepidoptera: Tortricidae): activity of the third component, (*E,Z*)-7,9-dodecadienyl acetate, and 3-component formulation. *Appl. Entomol. Zool.* 21, 334-339.