

가루각지벌레(*Pseudococcus comstocki*)의 온도별 발육 및 교미비행

조민규 · 권혜리 · 유용만 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Development by Temperatures and Copulation Flight of Comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki*

Min-Kyu Cho, Hey Ri Kwon, Yong Man Yu and Young Nam Youn*

Department of Agricultural Biology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

ABSTRACT: The comstock mealybug is one of the serious insect pest in pear. It is necessary effective control methods such as attractive sex pheromone. Using sex pheromones is necessary for studying the physiology and ecology of insect pests. In the present study, the sex pheromone of comstock mealybug was used for investigating the flying acts of the adult male. As temperature increased, the development period of eggs shortened, but it was longer at 30°C. The mean number of eggs laid was 482 at 25°C and males constituted 37% of the experimental population at 30°C. The flight of the male comstock mealybug was mostly restricted to a 2-4 hour period after sunrise, even if condition of light period is changed. Male mealybugs were incapable of upwind flight towards an attractant when air velocity was 1.5 mph. Preference of height was tested in a pear orchard. The ineffective heights of the traps were 2 and 2.5 m, whereas the effective heights were 1 and 1.5 m. Many captured males at 0.5, 1, and 5 m, and the number of captured males were similar in 10, 15, and 20 m. Male mealybugs were captured up to a distance of 50 m, suggesting that it is possible to control the male mealybugs that are more than 50 m away when sex pheromone traps are used.

Key words: Winter cherry bug, Male, Development, Flight

초 록: 가루각지벌레(*Pseudococcus comstocki*)는 전 세계적으로 배를 포함한 과수와 작물에 피해를 주는 해충으로 성페로몬을 이용하여 가루각지벌레를 방제하기 위하여 가루각지벌레 수컷의 온도별 발육과 교미비행 및 비행에 미치는 영향을 조사하여 방제에 적용하고자 본 연구를 수행하였다. 가루각지벌레의 온도별 발육기간은 15°C 에서 알이 산란 및 부화되지 않았고, 25°C 까지 발육기간이 짧아지다가 30°C 에서 다시 늘어났다. 산란수는 25°C 에서 평균 482개로 나타났으며, 성비는 15°C, 20°C, 25°C 에서 50%에 육박하였지만 30°C 에서 수컷의 성비가 37%였다. 비행패턴은 오전에 비행이 많았고 그 중에서도 해가 뜨고 난 직후 2시간 이내에 가장 많았다. 광주기가 달라지더라도 해가 뜨고 난 후 4시간 사이에 비행하는 개체가 많았다. 암조건만에서 암수를 사육하는 경우에도 비행이 일어났다. 상승 바람의 풍속에 따른 가루각지벌레 수컷의 비행을 조사한 결과, 0.5 m 거리 일 경우 1.5 mph 이상에서는 비행을 하지 못하였다. 배원에서 수컷의 비행은 2 m 이상에서는 채집되는 개체가 거의 없었고 1.5 m 에서 가장 많은 수가 포획되어 트랩을 설치하는 높이로 가장 적합하다고 판단된다. 수컷 방사지점과 트랩 사이의 비행가능 거리를 보면, 0.5 m, 1 m, 5 m까지는 트랩에 잡히는 수가 많았고 10 m, 15 m, 20 m에서 적었다. 다만, 50 m까지도 채집되는 것으로 보아 성페로몬 트랩을 이용하여 50 m 이상 떨어져 있는 수컷도 유인할 수 있을 것으로 사료된다.

검색어: 가루각지벌레, 수컷, 발육, 비행

가루각지벌레(*Pseudococcus comstocki* Kuwana, comstock mealybug)는 노린재목 가루각지벌레과에 속하는 해충으로 한

국, 일본, 중국, 러시아, 미국, 캐나다 등 전 세계적으로 문제가 되는 해충이다(Ben-Dov, 1994). 가루각지벌레는 배와 사과를 비롯한 과수와 영산홍, 은행나무, 동백나무, 개나리, 주목 등 가로수 및 정원수를 포함하여 넓은 기주 범위를 가지고 있다(Ben-Dov, 1994). 특히, 사과, 배, 감귤과 같은 과수들에 있어서는 수확량 감소와 품질저하 등으로 인하여 경제적 피해를 입히

*Corresponding author: youngnam@cnu.ac.kr

Received March 16 2018; Revised May 11 2018

Accepted May 22 2018

기도 한다(Woodside, 1936; Cox, 1940, Cutright, 1951, Phillips, 1960; Park and Hong, 1992).

가루깍지벌레는 기주의 잎과 과실, 뿌리, 줄기 등을 포함한 거의 모든 부위를 가해하는데(Park and Hong, 1992), 기주와 기후에 따라 1년에 2~4세대까지 발생하며(Meyerdirk and Newell, 1979b; Romanchenko and Belskaya, 1981), 국내에서는 3회 발생한다고 보고되어 있고(Park and Hong, 1992; Jeon et al., 2003), 전국적으로 발생한다고 보고되어 있다(Jeon et al., 2003; Park et al., 2010).

가루깍지벌레는 암·수의 형태가 다른 이형성으로(Beardsley, 1962), 암컷의 경우 번데기 시기를 거치지 않는 불완전변태를 하여(Lin, 1971) 성충이 약충과 형태가 같고 크기만 다르지만, 수컷의 경우 완전변태를 하여 번데기 과정을 거쳐 성충이 된다. Pseudococcidae속의 깍지벌레들은 수컷의 경우 1령 약충, 2령 약충, 전용, 번데기, 성충의 과정으로 나뉜다. 가루깍지벌레는 교미에 대한 암수의 역할 차이가 분명한데(Shoene, 1939; Beardsley, 1962), 암컷은 성충이 되어서도 기주를 가해하며 페로몬을 내뿜고(Meyerdirk and Newell, 1979b), 수컷은 성충이 될 시기가 되면 기주를 가해하지 않지만 성충이 된 후 암컷 성충의 페로몬을 따라 암컷 성충에게로 날아가 교미 후 일생을 마치는 것으로 연구되어 있다. 가루깍지벌레는 배나무의 나무껍질이나 나무 절단면의 틈 등에서 왁스를 분비하여 난괴를 형성해 월동하며, 5월이 되면 약충들이 부화해 나무껍질 틈에서 서식하다가 6월 중하순 경에 과실이 맺히기 시작하면 과실로 이동하여 가해한다(Park and Hong, 1992). 성충의 최고발생기는 6월 중하순, 8월 중하순, 10월 하순이고 알 부화시기 최고발생기는 7월 상중순이다.

가루깍지벌레를 방제하기 위해 화학적 방제법을 주로 사용하고 있지만 난괴와 가루깍지벌레를 둘러싼 왁스로 인해 방제가 쉽지 않을 뿐 아니라(Meyerdirk and Newell, 1979a), 농약의 축적 및 잔류, 약제에 대한 저항성 증가와 같은 부작용이 있어(Regnault-Roger, 1997; Koshihara, 1988) 친환경방제에 대한 연구가 관심을 받고 있다(Saxena, 1989). 친환경방제는 물리적방제, 식물추출물을 이용한 방제, 성페로몬을 이용한 방제, 천적을 이용한 방제 등을 들 수 있다. 예를 들어 물리적방제로는 과실을 봉지로 싸서 가루깍지벌레의 침입을 막는 방법(Choi et al., 2013), 식물추출물을 이용한 유기농자재를 인삼 가루깍지벌레에 적용하고(Seo et al., 2011), 암컷 가루깍지벌레 합성성페로몬인 2,6-dimethyl-3-acetoxy-5-heptadiene을 이용하여 트랩으로 수컷 성충을 방제하고(Cho et al., 2014), *Clausenia purpurea*와 *Chrysoplatycerus splendens*와 같은 두 종의 천적을 이용하여 가루깍지벌레를 방제하려는 시도 등을 들 수 있다

(Guerrieri and Pellizzari, 2009). 이러한 방법들 중 성페로몬을 이용한 연구가 해외에서 많이 이루어지고 있는데, 성페로몬 성분 분석 및 합성(Bierl-Leonhardt et al., 1982), 트랩을 이용한 연중 발생 시기 조사(Meyerdirk and Newell, 1979b) 등과 같은 연구가 이루어졌고, 국내에서도 성페로몬을 이용한 가루깍지벌레 발생예찰과 교미교란 같은 연구 사례가 보고되어 있다(Cho et al., 2014).

그렇지만, 성페로몬을 이용한 방제를 적절하게 활용하기 위해서는 수컷에 대한 온도별 발육이나 교미비행 같은 기초연구가 필요한데, *Pseudococcus citriculus*, *Planococcus citri*, *Planococcus kraunhiae* 3종에 대한 수컷의 온도별 발육(Arai, 1966), 장미를 기주로 한 *Planococcus citri*의 온도별 발육(Laflin and Parrella, 2004), *Phenacoccus solenopsis*의 온도 교미별 발육과 생존률 및 산란(Prasad et al., 2012) 등과 같이 Pseudococcia과에 많은 종들이 수컷의 온도별 발육연구가 진행되어 있고, 가루깍지벌레의 경우 세대별 발육기간(Choi, 1991), 월동시기에 따른 부화율(Huiping et al., 2011), 암컷 성충의 밀도에 따른 무게 및 산란수 차이(Heidari, 1999), 암컷의 온도별 발육기간(Jeon et al., 2003), 광주기에 따른 부화율 차이(Kawai et al., 1973), 호박을 기주로 한 수컷 온도별 발육(Pan et al., 2012) 등이 있지만 수컷의 온도별 발육기간 및 약충 단계별 발육률에 대한 연구가 미흡한 상황이다. 또한 *Planococcus citri*와 *Pseudococcus calceolariae*의 비행 및 교미행동(Da-Silva et al., 2013), *Planococcus ficus*와 *Planococcus citri*의 비행 주기성(Levi-Zada et al., 2014), *Aonidiella aurantii*, California red scale의 비행에 바람이 끼치는 영향(Rice and Moreno, 1970) 등과 같은 교미비행에 대한 연구가 보고되어 있지만, 가루깍지벌레의 경우 연구가 미흡해 적절한 시기에 맞게 성페로몬을 이용한 방제를 하거나 성페로몬의 효율적인 활용 방법을 알 수 없다.

따라서 본 연구에서는 가루깍지벌레의 성페로몬 활용을 위한 기초자료로 가루깍지벌레 수컷의 생태조사를 통해 발생 시기를 예측하고자 실내에서 성충의 수명, 산란량, 약충의 온도별 발육기간을 조사하였다. 또한 성페로몬을 야외 포장에서 활용하기 위한 자료로, 수컷 성충의 교미비행에 대한 연구를 하기 위해 수컷 성충의 비행시간 및 비행에 끼치는 요소를 조사하고 광주기와 바람의 세기, 트랩(암컷)의 높이 그리고 거리를 조사하여 가루깍지벌레 방제에 도움이 되고자 실험을 수행하였다.

재료 및 방법

실험 곤충 사육

가루깍지벌레는 (주)바이엘크롭사이언스에서 분양받아 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, RH 50~60%, 광주기 16L:8D (L: 06:00~22:00시)의 조건의 사육실에서 누대사육 하였다. 망 케이지(39.5 × 39.5 × 62 cm) 안에 큰 바트(36.5 × 32.5 cm), 작은 바트(28.3 × 22.4 cm)를 겹쳐 작은 바트 안에 모래를 깔고 짝이 난 감자(*Solanum tuberosum*)를 넣어 기주로 사용(Jeon et al., 2003)하면서 큰 바트에 물을 채워 습도를 유지하며 사육하였다.

온도별 생충률 및 발육기간

온도에 따른 발육기간 조사를 15°C 와 20°C 는 A형 성장상(JSCC-150CP, JSR, Korea)를 사용하였고, 25°C 에서는 실내 사육실, 30°C 에서는 B형 성장상(HB-301LP-T, Hanbeak Science, Korea)를 사용하여 상대습도 40~60%, 광주기 16L:8D의 조건 하에서 실험하였다. 알 및 약충을 60 × 15 mm 크기의 페트리디쉬(Life Science, SPL)에 agar를 조금 부어 굳기 전에 감자를 올린 뒤 접종하였다. 25°C 에서 가루깍지벌레 암컷이 산란한 난과들에서 80마리가 1령 약충이 되는 날 온도별 실험을 실시하였다. 하루에 80마리가 부화하기 까지 계속해서 약충들을 제거해 숫자를 맞추어 접종하였다. 모든 실험은 실체현미경(Leica MZ12, Leica Microsystems, Germany) 하에서 매일 15:00~18:00시 사이에 관찰하였다. 선행모델은 최소승자법(Campbell et al., 1974)을 사용하였으며, 발육률(발육속도)은 각 발육단계별 평균 발육기간의 역수를 취하여 표현하였다.

$$r(Tc) = aTc + b \quad (1)$$

여기서, $r(Tc)$ 는 온도에 따른 발육률, Tc 는 온도, a 는 회귀계수, b 는 상수를 나타낸다. 발육영점온도는 직선회귀식에서 발육률이 0이 되는 온도를 추정하여 계산하였다. 유효적산온도는 기율기의 역수 값이다.

온도별 산란 및 부화율

산란수의 경우, 각기 온도에서 키운 암컷 성충 1마리, 수컷 성충 5마리씩을 60 × 15 mm 크기의 디쉬에 넣어 온도별로 3반복 관찰하였다. 수컷이 죽을 때가 되면 이전 수컷 성충 개체들을 제거하고 다른 개체를 개체 수에 맞추어 넣어주었다. 부화율의

경우, 산란수와 따로 30개의 알을 온도별로 3반복 시험하였다. 수컷의 수명, 암컷의 산란 수 및 부화율, 부화기간을 조사하였다.

수컷 성충의 교미 비행

포장에서 수컷 성충의 교미 비행 시험 기간

수컷 성충의 비행에 관련된 시험은 8월 하순부터 9월 상순에 걸쳐 이루어 졌으며, 이 기간의 야외조건에서의 일출은 오전 06시 전후에 이루어졌으며, 일몰은 오후 19시 전후에 이루어졌다. 포장에서의 시험은 수컷성충 발생하지 않는 시기(2세대 성충이 죽은 후)에 전날 트랩을 걸어놓고 자연발생 개체 없는 것을 확인한 후에 실험을 실시하여 포장에서 발생한 개체가 포집될 수 있는 가능성을 배제하였다.

망케이지 이용

사육실에서 망케이지(39.5 × 39.5 × 62 cm) 안에 황색끈끈이 트랩(4 × 4 cm)을 부착하여 06:00~12:00시, 12:00~18:00시, 18:00~24:00시, 24:00~06:00시 사이에 비행하는 수컷 성충 개체수를 관찰하였다. 3개의 망케이지를 이용해 3반복으로 끈끈이 트랩에 잡힌 개체들을 현미경으로 조사 하였다.

Olfactometer 이용

교미비행 시간을 좀더 세밀하게 알아보고 비행과 교미를 한번에 관찰하기 위해 Y-tube Olfactometer를 사용하였다(Fig. 1). 공기압축기(air compressor, Flli Ghiotto, Italy)와 밸브를 이용해 일정한 압력으로 기포장치(bubbler)와 탄소여과기(carbon filter, 청운 C&G)를 거쳐 정제된 공기가 나오도록 하였고, 공기

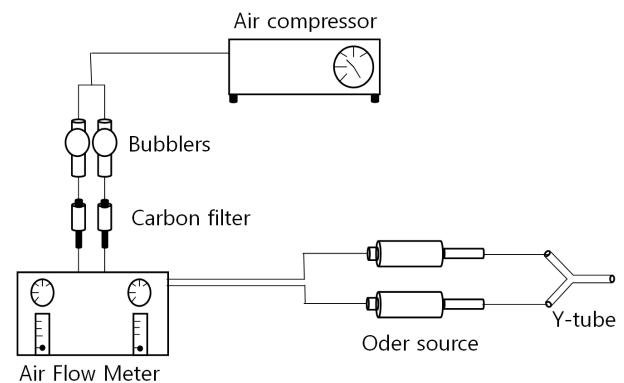


Fig. 1. Schematic representation of a Y-tube olfactometer and the air-flow system used in this study.

유량계(air flowmeter)를 이용해 유속을 일정하게 유지하였다. 처리구에는 암컷 30마리를 넣고 다른 쪽은 무처리로 하여 Y-tube (ID: 4 cm; Length: 27.5 cm; angle between arms: 90°)에 흐르게 하였다. Stem 중간에 양면테이프로 비행이 아니면 이동이 불가능 하게 하였고, Stem 끝에 가루깍지벌레 수컷 성충을 20마리씩 접종하여 시간은 06:00~08:00시, 08:00~10:00시, 10:00~12:00시, 12:00~2:00시로 각각 5반복으로 어느 쪽 arm으로 가는지 확인하고 현미경으로 관찰하여 비행 및 교미행동을 관찰하였다. 한 반복 후엔 에탄올과 물을 이용하여 세척 후 다시 실험을 진행하고 실험충은 16L:8D의 광 조건에서 사육한 개체들을 사용하였다. 실험에 사용되는 수컷 성충들은 Negishi et al. (1980)을 참조하여 호박에 휴지를 2~3일 감싸서 전용과 번데기가 정착하도록 하여 분리하는 방법을 응용하여 사용하였다. 교미관찰의 경우, Da-Silva et al. (2013)이 보고한 *Pseudococcus calceolariae*의 교미행동을 참고하였다.

광주기가 교미비행에 미치는 영향

광주기를 달리 하여 사육하기 위해 타이머(SJP-CP16, Seojun Electric)가 부착되어 광을 조절할 수 있는 공간을 이용하였고, 14L:10D (D: 21:00~07:00시), 12L:12D (D: 20:00~08:00시), 0L:24D (암+수)의 조건에서 키운 개체들로 실험하였다. 알의 Olfactometer 실험과 마찬가지로 암컷 30마리를 넣고 stem 끝에 가루깍지벌레 수컷 성충을 20마리씩 올려놓고 시간은 06:00~08:00, 08:00~10:00, 10:00~12:00, 12:00~14:00, 14:00~16:00시로 각각 5반복으로 어느 쪽 arm으로 가는지 확인하고 현미경으로 관찰하여 비행 및 교미를 관찰하였다. 한 반복 후엔 에탄올과 물을 이용하여 세척 후 다시 실험을 진행하였다.

풍속이 교미비행에 미치는 영향

가루깍지벌레의 행동에 바람이 어떤 영향을 미치는지를 알아보기 위해 wind-tunnel (SJ100-022LFR, Hitachi, Japan)을 이용하여 08:00~10:00시 사이에 upwind 방향으로 풍속이 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 mph 등으로 일정하게 흐르게 하였다. 실험은 각각 20마리씩 3반복으로 하여 실험하였고 교미비행 유인을 위해 0.5 m 거리에 암컷 성충 30마리가 든 통에 끈끈이 트랩(4 × 4 cm)을 부착하였고 30분 뒤 현미경으로 채집된 개체수를 조사하였다.

높이별 교미비행 선호도

수컷 성충의 비행높이 선호도 및 트랩의 적절한 설치 높이를

알아보기 위해 대전광역시 유성구 성북동에 위치한 야외 배포장 (품종: 신고)에서 실험하였다. 한번에 동일한 3 m 거리에, 높이 0, 1, 1.5, 2, 2.5 m에 각각 교미를 하지 않은 암컷 성충 30마리가 든 통과 끈끈이 트랩을 잎과 과실 부분에 따로 설치하여 잎과 과실도 간접적인 영향을 끼치는지 관찰하였다. 수컷 성충은 150마리씩 3반복으로 비행을 하지 않는 18:00시 이후에 수컷들을 15 mL 튜브(17 × 120 mm polypropylene tube, Corning Science, Mexico)에 넣어 방사하였다가 다음날 18:00시 이후에 끈끈이 트랩을 수거해 와서 채집된 개체수를 현미경으로 조사하였다.

교미비행 가능 거리

수컷 성충의 비행 가능 거리를 실험하기 위해 대전광역시 유성구 성북동에 위치한 야외 배포장(품종: 신고)에서 0.5, 1, 5, 10, 15, 20, 30, 50 m에 암컷 성충 30마리가 든 통과 Sticky trap을 하루씩 설치하여 각각 관찰하였다. 수컷 성충은 40마리씩 3반복으로 하였고 비행을 하지 않는 18:00시 이후에 수컷들을 15 mL 튜브에 넣어 방사하였다가 다음날 18:00시 이후에 끈끈이 트랩을 수거해서 채집된 개체수를 현미경으로 관찰하였다.

결과

온도별 생충률 및 발육기간

가루깍지벌레의 발육 상황을 4개의 온도로 조사한 결과, 탈피율, 우화율, 부화율 모두 25°C에서 가장 높았다. 15°C에서는 알이 부화하지 않았고 25°C까지 부화율이 높아졌지만 온도가 올라감에 따라 다시 부화율이 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 1령(암+수)의 경우 30°C에서 생충률이 53.8%(F27+M16)로 가장 낮았고, 2령의 경우 25°C에서 생충률이 90% 이상 되어 가장 발육온도에 적합하고, 전용의 경우 15°C에서 생충률이 50% 미만이었지만 30°C까지 높아졌고, 번데기의 경우도 전용과 마찬가지로 25°C와 30°C에서 90% 이상의 생충률을 보였다(Table 2).

발육기간은 알의 경우 25°C로 올라감에 따라 짧아지다가 다시 길어지는 현상을 보였고, 1령, 2령, 전용, 번데기의 경우 30°C까지 온도가 높아짐에 따라 발육기간이 점점 짧아졌다(Table 1). 선형모델을 이용해 추정된 알의 발육영점온도는 12.6°C이고 유효적산온도는 169.5 DD이었다. 수컷의 1령, 2령, 전용, 번데기의 발육영점온도는 각각 12.6°C, 9.6°C, 4.5°C, 4.9°C, 8.9°C였으며, 이들의 유효적산온도는 각각 144.9 DD, 178.6 DD, 96.2 DD, 73.0 DD이었고, 알에서부터 성충까지의 발육하는데 필요한 유효적산온도는 662.1 DD이었다(Table 3).

온도별 산란 및 부화율

실내에서 가루깍지벌레 암컷의 온도별 산란은 15°C에서는 산란을 하지 않았고, 25°C에서 482 개로 가장 많은 수의 알을 낳았지만 30°C로 온도가 올라감에 따라 다시 산란수가 368 개로 낮아지는 현상을 보였다. 부화율의 경우 25°C에서 82%를 보였지만 30°C에서 37%로 급격히 낮아짐을 알 수 있었다. 또한, 15°C에서 25°C까지는 성비가 비슷했지만 30°C의 경우 수컷의 성비가 37%를 나타내 높은 온도에서 수컷의 비율이 줄어

드는 현상이 나타났다(Table 4).

수컷 성충의 교미비행 시간

가루깍지벌레 수컷의 교미비행이 어느 시간에 일어나는지 알아보기 위한 망케이지에서의 실험 결과, 06:00~12:00시 사이에 하루 중 일어나는 교미행동의 95% 이상이 일어났다(Table 5). Olfactometer를 이용한 교미비행과 교미를 관찰한 결과, 빛이 시작되고 2시간까지 비행이 많이 일어나고 점점 시간이 갈수록

Table 1. Duration (days) of the development stage of *Pseudococcus comstocki* at different temperatures

Development stages	Temperatures			
	15°C	20°C	25°C	30°C
Egg		17.8 ± 0.4	10.8 ± 0.4	11.6 ± 0.5
First nymph	28.1 ± 1.0	14.0 ± 0.7	9.3 ± 0.48	7.3 ± 0.5
Second nymph	18.4 ± 0.6	11.5 ± 0.6	8.1 ± 0.78	7.4 ± 0.5
Prepupae	9.9 ± 1.3	5.8 ± 0.4	5.2 ± 0.37	3.7 ± 0.8
Pupae	12.5 ± 0.5	6.4 ± 0.5	4.4 ± 0.70	3.5 ± 0.7

Table 2. Survival rate (%) of the different development stage at different temperatures

Development stages	Temperatures			
	15°C	20°C	25°C	30°C
Number of nymph	80	80	80	80
First nymph (F + M)	83.75 (28 + 39)	83.75 (32 + 35)	86.25 (34 + 35)	53.75 (27 + 16)
Second nymph	84.62 (33)	85.71 (30)	91.43 (32)	75 (12)
Prepupae	48.48 (16)	66.67 (20)	81.25 (26)	91.67 (11)
Pupae	75 (12)	85 (17)	100 (26)	90.91 (10)

Table 3. Regression of development rate (y) at temperature (x), lower threshold thresholds and degree days (DD)

Stages	Regression equation	r ²	Lower threshold temperature (°C)	Degree days (DD)
Egg	y = 0.0059x - 0.0745	0.8159	12.6	169.5
First nymph	y = 0.0069x - 0.0663	0.9988	9.6	144.9
Second nymph	y = 0.0056x - 0.0251	0.9608	4.5	178.6
Prepupae	y = 0.0104x - 0.0511	0.9634	4.9	96.1
Pupae	y = 0.0137x - 0.1223	0.9971	8.9	73.0

Table 4. Effect of different temperatures on eggs laid , hatching (%) and sex ratio

Temperatures	15°C	20°C	25°C	30°C
Lay egg	-	162 ± 43.3	482.7 ± 27.1	368.3 ± 33.1
Hatch (%)	-	74.4 ± 12.6	82.2 ± 6.9	37.8 ± 7.7
Sex ratio (M)	0.58	0.52	0.51	0.37

Table 5. Daily flight time of *Pseudococcus comstocki* in a cage under 16L:8D condition

	Time zones				P
	06:00-12:00	12:00-18:00	18:00-24:00	24:00-06:00	
1	432	14	0	0	0.000
2	536	21	0	0	
3	289	4	0	0	
Mean	419 ± 124.0b	13 ± 8.5a	0a	0a	

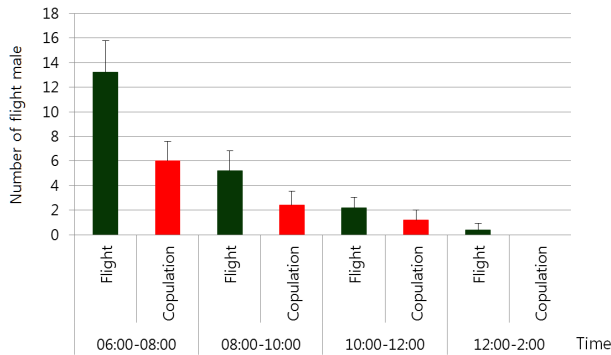


Fig. 2. Daily flight time of *Pseudococcus comstocki* in an olfactometer by the number of males attracted to females (N = 30) and number of copulation (16L:8D).

비행수가 줄어드는 현상이 나타났다. 교미의 경우 06:00~12:00 시까지 비행의 50% 정도로 일정하게 나타났고 12:00~2:00시 사이에는 교미가 일어나지 않았다(Fig. 2).

광주기가 교미비행에 미치는 영향

가루깍지벌레의 교미비행에 광주기가 어떤 영향을 미치는지 확인하기 위해 광주기를 달리한 조건에서 가루깍지벌레 수컷을 사육한 후 olfactometer에서 수컷의 교미비행 시간 실험과 같은 방법으로 실험한 결과, 14L:10D의 조건에서는 08:00~10:00시에 가장 많이 비행이 이루어졌고, 16L:8D보다 오랫동안 비행을 하였다(Table 6). 마찬가지로 12L:12D의 조건사육 개체들도 08:00~10:00시에 가장 많이 비행이 나타났고 오랫동안 비행하

Table 6. Daily flight time of *Pseudococcus comstocki* in an olfactometer by the number of males among the 30 studied, which were attracted to females under 14L:10 D conditions

	Time zone					P
	06:00-08:00	08:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00	
1	8	13	8	4	0	0.000
2	5	7	3	1	1	
3	9	7	3	2	0	
4	12	11	3	2	3	
5	10	14	4	0	0	
Mean	8.8 ± 2.6b	10.4 ± 3.3b	4.2 ± 2.2a	1.8 ± 1.5a	0.8 ± 1.3a	

Table 7. Daily flight time of *Pseudococcus comstocki* in an olfactometer by the number of males among the 30 studied, which were attracted to females under 12L:12 D conditions

	Time zones					P
	06:00-08:00	08:00-10:00	10:00-12:00	12:00-14:00	14:00-16:00	
1	3	9	5	3	1	0.000
2	9	15	2	2	0	
3	5	7	8	0	3	
4	5	16	5	0	0	
5	6	11	3	2	2	
Mean	5.6 ± 2.2c	11.6 ± 3.9b	4.6 ± 2.1b	1.4 ± 1.3a	1.2 ± 1.3a	

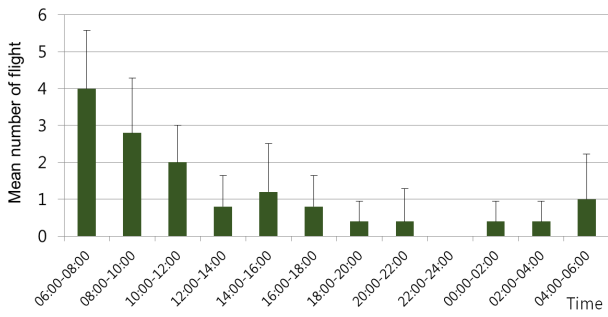


Fig. 3. Mean number of flying males of *Pseudococcus comstocki* during the 24 hours of exposure to 30 virgin females under 24 hour darkness.

였다(Table 7). 0L:24D의 사육조건에서 암수를 키운 경우 빛이 비추는 06:00~18:00시까지 꾸준히 비행하는 개체가 나타났고 암 조건에서도 적은 수의 개체가 비행하는 현상이 나타났다(Fig. 3).

풍속이 교미비행에 미치는 영향

총 6가지의 서로 다른 풍속으로 wind-tunnel에서 비행을 관찰한 결과, 0 mph에서는 50% 이상이 비행을 하였지만 upwind의 방향으로 1.5 mph 이상의 세기에서는 비행이 관찰되지 않았다 (Table 8).

높이별 교미비행 선호도

야외 배포장에서 가루깍지벌레의 높이별 교미비행 선호도의 경우, 2.5 m 높이에서는 끈끈이트랩에 잡힌 수컷이 없고 1.5 m의 높이에서 가장 많이 교미비행 선호도가 높은 것을 알 수 있다. 또한 높이별로 앞에서 보다 열매에서 채집된 개체수가 많았지만 유의차는 없었다(Fig. 4).

교미비행 가능 거리

비행가능 거리를 알아보기 위해 야외 배포장에서 가루깍지벌레 수컷 성충을 40마리씩 3반복으로 8처리구를 시험한 결과,

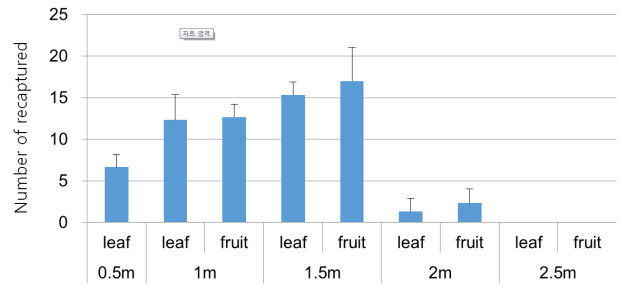


Fig. 4. Number of male mealybugs recaptured in female mealybug traps containing 30 females, 24 hours after releasing 450 males at 1 m intervals between the traps.

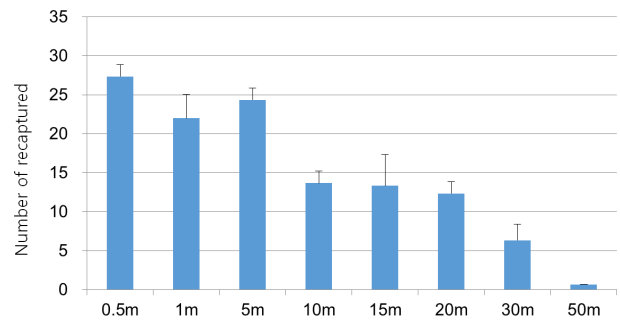


Fig. 5. Number of male mealybugs caught by traps placed in the pear yard at different distances after releasing the males.

0.5 m 떨어진 거리에서 평균 27.3마리가 재포획되어 60%의 재포획율을 보였고 5 m 떨어진 거리까지는 비슷하게 재포획율이 나타났지만, 10 m에서 30 m 떨어진 거리까지 점점 감소하였고, 50 m 떨어진 거리에서는 재포획되지 않았다. 이 결과로 가루깍지벌레 수컷이 30 m 이상까지도 비행이 가능하다 사료된다(Fig. 5).

고찰

Millar et al. (2002)는 깍지벌레류 암컷은 평균 성페로몬의 사용기간이 12주 정도로 정해져 있다고 하였다. 가루이는 유인하고자 하는 발육단계의 해충이 포장에 발생해 있을 때만 유인한 방제법이므로, 성페로몬을 이용한 방제 및 예찰에 가장 중요한 것은 해충의 정확한 발생시기이다 깍지벌레뿐만 아니라 많

Table 8. Effect of wind-tunnel air velocity on the responses of the comstock mealybug males. Distance of the males from the females was 0.5 m

	Wind speed (mph)						P
	0	0.5	1	1.5	2	2.5	
1	12	7	3	0	0	0	
2	14	5	2	0	0	0	
3	9	4	0	0	0	0	
Mean	11.7 ± 2.5c	5.3 ± 1.5b	1.7 ± 1.3a	0.0a	0.0a	0.0a	0.000

은 곤충들의 발육에는 온도가 가장 중요한 요인이고 이러한 온도조건에 따라 발육을 하지 못 할 수도 또는 적합한 온도로 인해 대발생이 일어나기도 한다. 또한 해충들의 예찰시기를 알아볼 때도 온도에 따른 자료를 가장 중요시한다. 이로 인해 가루까지벌레 수컷의 발육을 조사하기 위해 4개의 온도 15°C, 20°C, 25°C, 30°C 를 조건으로 하여 알의 부화기간, 수컷 약충의 발육기간을 조사하였다. 그 결과 15°C 에서는 약충의 경우 발육이 가능하였으나 알이 부화하지 않았는데, 가루까지벌레 암컷의 온도별 발육기간과 알의 발육에 대한 연구(Jeon et al., 2003)에서도 마찬가지로 15°C 에서 부화하지 않았다. 그리고 25°C 에선 암컷의 산란 전 기간까지의 발육기간과 비슷하게 나타났지만 30°C 의 경우 수컷이 10일 이상 발육기간이 짧은 현상이 나타났다. 또한 알의 경우 30°C 에서 발육기간이 늘어났지만 수컷 약충의 경우 30°C 조건까지 온도가 증가함에 따라 모든 발육단계에서 발육기간이 줄어드는 현상이 나타났다. 이것은 같은 속의 *Pseudococcus cryptus* (Kim et al., 2008), *Pseudococcus longispinus* (Gillani et al., 2011)와 온도별 발육에 많은 차이를 보였는데 이는 같은 속의 곤충이라도 발육에 필요한 적합한 온도가 달라 나타나는 현상이라 사료된다. Pan et al. (2012)은 호박을 기주로 한 가루까지벌레 수컷의 온도별 발육기간의 경우 1령 발육기간을 암, 수 같이 관찰하고 전용, 번데기의 기간도 분리 되어 있지 않아 본 실험 결과는 이 보다 정확하게 수컷의 온도별 발육기간을 알 수 있었고 이러한 차이는 Patil et al. (2011)의 *Maconellicoccus hirsutus*가 기주의 종류에 따라 발육에 필요한 영양소 차이로 인해 발육기간이 달라진다고 한 것과 같은 이유라고 생각된다. 또한 Heidari (1999)는 가루까지벌레 수컷 약충의 성비율이 22°C 의 온도에서 가장 높고 30°C 에서 낮아진다고 하였지만, 본 실험에서는 15°C 에서 수컷 약충들의 성비가 가장 높았는데 이런 차이는 광주기, 습도 등의 실험조건 차이 때문이라 생각된다. 온도가 낮음에 따라 수컷 약충보다 암컷 약충의 생충률이 낮은 것으로 보아 낮은 온도에 수컷이 더 적합하기 때문이라 사료되고, 다른 곳으로 비행하여 교미하기 위한 가루까지벌레의 생존 전략과 관계가 있을 것이라 생각된다. 산란의 경우 15°C 에서 산란을 하지 못하고 25°C 에서 가장 많은 알을 낳고 30°C 에서 산란수가 줄어드는데 이는 Heidari (1999)의 연구와 비슷한 경향의 온도별 산란경향을 보였고, Jeon et al. (2003)의 감자를 기주로 한 산란에서도 같은 양상을 보였다. 또한 발육기간 시험 결과 낮은 온도에서는 가루까지벌레 수컷의 경우 1령, 2령보다 전용, 번데기의 경우가 발육율이 낮고 온도가 높아짐에 따라 1령, 2령이 발육율이 낮아지는데 이는 1령의 경우 가루까지벌레가 월동에서 깨어나는 시기가 낮은 온도이기 때문에 1령, 2령이 보다 낮은 온도에 살아가기에 적합하게 진화된 현상이라 생각된다.

특히 상대습도가 85% 이상일 경우 발육이 정상적으로 이루어지지 않아 습도를 최적의 상태로 조절해주는 것이 유충을 사육하는데 중요한 요인으로 작용하는 것으로 사료된다(Kumar et al., 2013). 최근 지구온난화로 인해 한국은 100년에 걸쳐 세계 평균기온보다 훨씬 높은 1.5°C 의 기온이 상승했는데(Solomon et al., 2007) 가루까지벌레 수컷의 경우 30°C 에서 알-번데기 기간이 33.5일로 매우 짧아 이러한 기후변화는 수컷의 발육에 매우 큰 영향을 끼쳐 향후 외국의 연발생과 같이 4세대까지 발생이 될 수도 있을 것으로 보인다. 이러한 기후변화 대비를 위해 농업해충들의 보다 세밀한 온도별 발육을 연구하여 발생시기 예찰 및 기후변화에 따른 국내 해충 발생변화를 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

가루까지벌레 수컷의 비행시간을 알아보기 위해 사전실험으로 끈끈이트랩을 이용하여 조사한 결과, 오전 시간인 06:00~12:00시에서 대부분 교미비행이 끝나는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Rotundo and Tremblay (1980)가 *Planococcus citri*의 교미비행에 일정한 주기성이 없다고 한 것과 반대되는 현상이었지만, Levi-Zada et al. (2014)이 *Planococcus citri*는 오전에 비행을 하고 또한 *Planococcus ficus*가 오전 비행을 한다고 했는데 이러한 이유가 광에 의한 영향일 것이라고 하여 본 실험과 비슷한 양상을 나타냈다. *Pseudococcus calceolariae*의 경우 교미율이 88%정도로 높게 나타난 것에 비해(Da-Silva et al., 2013), 가루까지벌레의 경우 50%정도로 낮은 교미율을 보였다. 또한 Levi-Zada et al. (2014)은 야외에서 암컷 성충의 성페로몬이 해가 뜬 직후에 가장 많이 방출된다고 하여 성페로몬과 교미비행에 관한 관계도 중요하다고 서술하였다. 계절별 광주기가 가루까지벌레 수컷의 교미비행에 미치는 영향을 보기 위해 장일 조건인 16L:8D와 중일 조건인 12L:10D의 조건 사이의 광주기를 선택하였다. 가루까지벌레의 교미비행시간을 보면 16L:8D, 14L:10D, 12L:12D 모두 오전에 비행하는 수가 많아 수컷 성충의 비행주기성을 알 수 있었다. 또한 광주기에 따라 최대 채집수에 시간의 차이가 있었는데, 이는 각각의 광주기에 적응한 수컷개체들의 교미비행 활동시간에 영향을 끼친 것으로 보인다. 또한 0L:24D의 조건에서는 암조건에서도 적은 숫자지만 비행개체가 발생했는데 이는 암컷이 암조건에서 사육해 정확한 주기성 없이 성페로몬을 방출해 생긴 결과라 사료된다. 이러한 광주기에 의한 교미비행 결과로 야외 포장에서 가루까지벌레 수컷은 계절별로 광주기가 변화 되더라도 해가 뜨고 난 후 오전 또는 몇 시간 동안만 교미비행을 할 것이라 생각된다. 성페로몬 트랩을 활용하여 방제하고자 할 때 오전에만 성페로몬을 사용하고 다시 보관했다가 사용하는 방법으로, 휘발을 막아 사용기간을 늘려 보다 오랫동안 성페로몬을 사용할 수 있는

방법을 모색하면 오전에만 트랩을 설치해도 기존의 방법과 마찬가지로 효과적으로 방제 할 수 있을 것이라 사료된다. 또한 성페로몬에 수컷 2령 약충들이 유인 된다는 연구가 있어(Mendel et al., 2012b) 성페로몬을 다른 방법으로 활용해 방제하는 방법에도 기초자료로 활용할 수 있을 것이라 생각된다.

Rice and Moreno (1970)는 California red scale, *Aonidiella aurantii*의 경우 30 cm의 거리는 1 mph 이상의 바람에서 비행을 하지 못한다고 하였는데, 이는 본 실험의 가루깍지벌레가 1.5 mph 이상에서 비행을 못하는 것 보다 바람에 대한 저항성이 낮았다. 깍지벌레는 성충이 되어서도 꼬리날개가 길어짐에 따라 비행에 차이가 있다고 하였는데(Grimes and Cone, 1985; Mendel et al., 2012a), 이러한 깍지벌레들 사이의 날개와 꼬리날개의 크기 및 길이에 따라 바람의 영향을 받는 것으로 생각된다. 또한 야외포장에서는 실험실보다 낮은 바람에서도 비행이 불가능 할 것이라 예상된다.

해충의 야외 비행에 관한 실험은 주로 나방류에서 많이 진행되었는데 트랩의 높이(Kovanci et al., 2006), 거리와 설치장소(Elkinton and Cardre, 1988) 등 페로몬 트랩의 활용방법에 대한 다양한 방향의 실험들이 수행되었다. 사과 과원에서 *Grapholita molesta*의 트랩 높이에 따른 포획수를 실험하였을 때 1.5 m 이상의 트랩이 더욱 많이 잡히는 결과(Kovanci et al., 2006)가 나타났고 콩포장에서 톱다리개미허리노린재의 경우 지면 60 cm에서 유인량이 가장 많았다(Paik et al., 2009). 본 실험에서는 1.5 m의 트랩에서 가장 많은 수의 수컷 성충이 잡혔다. 이러한 이유는 Park et al. (2000)이 솔껍질깍지벌레는 바람의 세기가 약한 장소를 따라 비행한다고 한 것처럼, 가루깍지벌레가 배나무의 가지와 잎이 많은 1 m와 1.5 m 주위에서 비행한다고 사료된다. 또한 교미비행 가능 거리의 경우 *Planococcus ficus*는 45 m거리 이상 비행이 가능하다고 하였고(Millar et al., 2002), California red scale의 경우 92 m 이상 비행이 가능하다고 하였다(Rice and Moreno, 1970). 본 실험에서 가루깍지벌레 수컷은 10~30 m까지 트랩에 잡히는 수가 일정하고 50 m까지도 채집되어 성페로몬을 이용할 시 50 m 이상의 거리에 있는 수컷 성충도 방제가 가능할 것이라 사료된다.

사 사

본 연구는 충남대학교 학술연구진흥사업 자체연구과제로 선정되어 진행되었으며, 이에 감사사를 드립니다.

Literature Cited

- Arai, T., 1996. Temperature-dependent development rate of three mealybug species, *Pseudococcus citriculus* (Green), *Planococcus citri* (Risso), and *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) (Homoptera: Pseudococcidae) on citrus. Jap. J. Appl. Entomol. Zool. 40(1), 25-34.
- Beardsley, J.W., 1962. Descriptions and notes on male mealybugs (Homoptera: Pseudococcidae). Hawaiian Entomol. Soc. 18(1), 92-94.
- Ben-Dov, Y., 1994. A systematic catalogue of the mealybugs of the world (Insecta: Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae and Putoidea): With data on geographical distribution, host plants, biology and economic importance. Intercept Ltd.
- Bierl-Leonhardt, B.A., Moreno, D.S., Schwarz, M., Forster, H.S., Plimmer, J.R., Devilbiss, E.D., 1982. Isolation, identification, synthesis, and bioassay of the pheromone of the comstocki mealybug and some analogs. J. Chem. Ecol. 8(4), 689-699.
- Campbell, A., Frazer, B.D., Gilbert, N.G.A.P., Gutierrez, A.P., Mackauer, M., 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. J. Appl. Ecol. 11(2), 431-438.
- Cho, Y.S., Song, J.H., Lim, K.H., Choi, J.H., Lee, H.C., 2014. Monitoring and mating disruption of *Pseudococcus comstocki* by using a sex pheromone in pear orchards. Korean J. Appl. Entomol. 53(3), 209-215.
- Choi, J.H., Choi, J.J., Yim, S.H., Cho, Y.S., Lee, H.C., Jung, S.K., Choi, H.S., 2013. Effect of paper bag types on the fruit quality, occurrence of skin blackening and comstock mealybug of Chuhwangbae pear fruit. J. Korean Soc. Int. Agric. 25(1), 50-55.
- Choi, K.R., 1991. Biology and control of comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* Kuwana (Homoptera: Pseudococcidae), on the pear tree. Res. Rep. Rural Develop. Admin. 34, 85-92.
- Cox, J.A., 1940. Comstock's mealybug on apple and catalpa. J. Econ. Entomol. 33(3), 445-447.
- Cutright, C.R., 1951. Comstock mealybug in Ohio. J. Econ. Entomol. 44(1), 123-124.
- Da-Silva, E.B., Branco, M., Mendel, Z., Franco, J.C., 2013. Mating behavior and performance in the two cosmopolitan Mealybug species *Planococcus citri* and *Pseudococcus calceolariae* (Homoptera: Pseudococcidae). J. Insect Behav. 26(3), 304-320.
- Elkinton, J.S., Cadre, R.T., 1988. Effects of intertrap distance and wind direction on the interaction of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) pheromone-baited traps. Environ. Entomol. 17(5), 764-769.
- Gillani, W., Coplandb, M., Rajac, S., 2011. Effect of different temperatures and host plants on the biology of the long-tailed mealybug *Pseudococcus longispinus* (Targioni and Tozzetti) (Homoptera: Pseudococcidae). Series B: Biological Science. 54(3), 142-151.

- Grimes, E.W., Cone, W.W., 1985. Life history, sex attraction, mating, and natural enemies of the grape mealybug, *Pseudococcus maritimus* (Homoptera: Pseudococcidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 78(4), 554-558.
- Guerrieri, E., Pellizzari, G., 2009. Parasitoids of *Pseudococcus comstocki* in Italy *Clausenia purpurea* and *Chrysoplaticeris splendens*: First records from Europe. *Bull. Insectol.* 62(2), 179-182.
- Heidari, M., 1999. The intrinsic rate of increase and temperature coefficients of the comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* (Kuwana) (Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae). *Entomol.* 33, 297-303.
- Huiping, L., Wu, P., Chen, N., Zhang, L., Zhou, P., 2011. Effect of ice temperature on survival and development of eggs of the mealybug (*Pseudococcus comstocki* Kuwana). *Plant Quar.* 25(6), 9-12.
- Jeon, H.Y., Kim, D.S., Cho, M.R., Chang, Y.D., Yiem, M.S., 2003. Temperature-dependent development of *Pseudococcus comstocki* (Homoptera: Pseudococcidae) and its stage transition models. *Korean J. Appl. Entomol.* 42(1), 43-51.
- Kawai, T., Kobara, R., Yamane, I., Muraoka, K., 1973. On the diapause of eggs in the comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* Kuwana, (3) Effects of the transference of rearing temperature and the photoperiod in the larval stage on the induction of egg-diapause. *J. Facul. Agric., Kyushu Univ.* 17(1), 32-42.
- Kim, S.C., Song, J.H., Kim, D.S., 2008. Effect of temperature on the development and fecundity of the cryptic mealybug, *Pseudococcus cryptus*, in the laboratory. *J. Asia-Pac. Entomol.* 11(3), 149-153.
- Koshihara, T. 1988. Chemical control of the diamondback moth in Japan. *Jpn. Pestic. Inf.* 53, 14-17.
- Kovanci, O.B., Schal, C., Walgenbach, J.F., Kennedy, G.G., 2006. Effects of pheromone loading, dispenser age, and trap height on pheromone trap catches of the oriental fruit moth in apple orchards. *Phytoparasitica* 34(3), 252-260.
- Kumar, S., Sidhu, J.K., Hamm, J.C., Kular J.S., Mahal. M.S., 2013. Effects of temperature and relative humidity on the life table of *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Homoptera: Pseudococcidae) on Cotton. *Flo. Entomol.* 96(1), 19-28.
- Lafin, H.M., Parrella, M.P., 2004. Developmental biology of citrus mealybug under conditions typical of California rose production. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 97(5), 982-988.
- Levi-Zada, A., Fefer, D., David, M., Eliyahu, M., Franco, J.C., Protasov, A., Dunkelblum, E., Mendel, Z., 2014. Diel periodicity of pheromone release by females of *Planococcus citri* and *Planococcus ficus* and the temporal flight activity of their conspecific males. *Naturwissenschaften* 101(8), 671-678.
- Lin, T.H., 1971. Morphology of *Pseudococcus comstocki* (Kuwana) (Homoptera: Coccoidea: Pseudococcidae). *Plant Prot. Bull. Taiwan* 13(4), 162-165.
- Mendel, Z., Jasrotia, P., Protasov, A., Kol-Maimon, H., Levi-Zada, A., Franco, J.C., 2012b. Responses of second-instar male nymphs of four mealybug species (Homiptera: Pseudococcidae) to conspecific and heterospecific female sex pheromones. *J. Insect Behav.* 25, 504-513.
- Mendel, Z., Protasov, A., Jasrotia, P., Silva, E.B., Zada, A., Franco, J.C., 2012a. Sexual maturation and aging of adult male mealybug (Homiptera: Pseudococcidae). *Bull. Entomol. Res.* 102, 385-394.
- Meyerdirk, D.E., Newell, I.M., 1979b. Seasonal development and flight activity of *Pseudococcus comstocki* in California. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 72(4), 492-494.
- Meyerdirk, D.E., Newell, I.M., 1979a. Importation, colonization and establishment of natural enemies on the comstock mealybug in California. *J. Econ. Entomol.* 72(1), 70-73.
- Millar, J.G., Daane, K.M., Mcelfresh, J.S., Moreira, J.A., Kuenen, R.M., Guillen, M., Bentley, W.J., 2002. Development and optimization of methods for using sex pheromone for monitoring the mealybug *Planococcus ficus* (Homoptera: Pseudococcidae) in California vineyards. *J. Econ. Entomol.* 95(4), 706-714.
- Negishi, T., Ishiwa-Tari, T., Asano, S., 1980. Sex pheromone of comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* Kuwana: Bioassay method, male response-habits to the sex pheromone. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 24, 1-5.
- Paik, C.H., Lee, G.H., Oh, Y.H., Park, C.G., Hwang, C.Y., Kim, S.S., 2009. Pheromone trap type and height for attracting of *Riptortus calvatus* (Thunberg) (Homiptera: Alydidae) in soybean field. *Korean J. Appl. Entomol.* 48(1), 59-65.
- Pan, X.U., Zhi-Hong, X.U., Shao-Jin, L., Wei-Gen, X.U., Han-Qiong, L.I., 2012. Life table of the experimental population of comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* (Homiptera: Pseudococcidae), at different temperatures. *Acta Entomol. Sin.* 55(12), 1362-1367.
- Park, D.S., Leem, Y.J., Hahn, K.W., Suh, S.J., Hong, K.J., OH, H.W., 2010. Molecular identification of mealybugs (Homiptera: Pseudococcidae) found on Korean pears. *J. Econ. Entomol.* 103(1), 25-33.
- Park, J.D., Hong, K.H., 1992. Species, damage and population density of Pseudococcidae injuring pear fruits. *Korean J. Appl. Entomol.* 31(2), 133-138.
- Park, S.C., Wi, A.J., Kim, H.S., 2000. Flight of *Matsucoccus thunbergiana* males in response to synthetic pheromone placed at various heights above ground and wind speed. *J. Korean For. Soc.* 89(1), 135-140.
- Patil, S.V., Patil, C.D., Salunkhe, R.B., Maheshwari, V.L., Salunke, B.K., 2011. Studies on life cycle of mealybug, *Macronellicoccus hirsutus* (Green) (Homiptera: Pseudococcidae), on different hosts at different constant temperatures. *Crop Prot.* 30(12), 1553-1556.
- Phillips, J.H.H., 1960. An infestation of comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* (Homoptera: Coccoidea) on peach in Ontario. *Proc. Entomol. Soc. Ontario.* 91, 268-270.
- Prasad, Y.G., Prabhakar, M., Sreedevi, G., Rao, G.R., Venkateswarlu, B., 2012. Effect of temperature on development, survival and

-
- reproduction of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) on cotton. *Crop Prot.* 39, 81-88.
- Regnault-Roger, C., 1997. The potential of botanical essential oils for insect pest control. *Integr. Pest Manage. Rev.* 2(1), 25-34.
- Rice, R.E., Moreno, D.S., 1970. Flight of male California red scale. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 63(1), 91-96.
- Romanchenko, A.A., Belskaya, N.M., 1981. The comstock mealybug in the Odessa region. *Zashch. Rast.* 4, 1-41. ISSN 1026-8634.
- Rotundo, G., Tremblay, E., 1980. Evaluation of the daily rate of sex pheromone release by the females of two mealybug species (Homoptera Coccoidea Pseudococcidae). *Boll. Lab. Entomol. Agrar. Filippo Silvestri, Portici* 37, 167-170.
- Saxena, R.C., 1989. Insecticides from neem, in: Arnason, J.T., Philogene, B.J.R., Morand, P. (Eds.), *Insecticides of plant origin*. ACS Symposium Series No. 387. American Chemical Society Washington, D.C., pp. 100-135.
- Seo, M.J., Shin, H.S., Jo, S.H., Gawk, C.S., Kwon, H.R., Park, M.W., Kim, S.H., Cho, D.H., Yu, Y.M., Youn, Y.N., 2011. Selection of environmental-friendly control agents for controlling the comstock mealybug {*Pseudococcus comstocki* (Kuwana), Pseudococcidae, Hemiptera}. *Korean J. Pestic. Sci.* 15(4), 479-484.
- Shoene, W.J., 1939. The comstock mealybug of apples. *Virg. Fruit.* 28, 155-160.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., 2007. *Climate change 2007: The physical science basis: Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 254-265
- Woodside, A.M., 1936. Comstock's mealybug as an apple pest. *J. Econ. Entomol.* 29, 544-546.