

먹이트랩을 이용한 복숭아순나방 [*Grapholita molesta* (Busck)]의 교미교란제 효과 검정

김용균* · 배성우 · 최경희¹ · 이동혁¹ · 이순원¹

안동대학교 생명자원과학과, ¹원예연구소 사과시험장

Efficacy Test of Mating Disruptors Using Food Trap of Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* (Busck)

Yong-Gyun Kim*, Sung-Woo Bae, Kyung-Hee Choi¹, Dong-Hyuk Lee¹ and Soon-Won Lee¹

Department of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong 760-749

¹Apple Experiment Station, National Horticultural Research Institute, RDA, Kunwi 716-810, Korea

ABSTRACT : This study was performed to estimate the efficacy of three commercial mating disruptors for the control of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck), using a food-baited trap to collect field females. Mated female ratios estimated in the mating disruptor-treated areas were compared with the estimates of male trap captures, and both estimates were evaluated on the basis of crop damage measured by shoot tip damage caused by *G. molesta*. Both males and females were attracted to the food trap-baited with terpinyl acetate in apple orchard. Spermatophore of *G. molesta* was similar to female bursa copulatrix in size. Though there was more than 95% reduction in male trap captures indicating significant mating disruption, significant crop damage occurred on apple leaf buds, in which more than 35% of captured females were mated. This study demonstrates that assessment of the mated females would be more reasonable to represent the efficacy of mating disruptor(s) than the assessment of the male captures in *G. molesta*.

KEY WORDS : Apple, *Grapholita molesta*, Mating disruption, Mating ratio, Food trap, Overwintering population

초 록 : 본 연구는 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))의 상용 교미교란제가 사과원에서 미치는 교미교란 효과를 분석하기 위해 먹이트랩으로 암컷을 채집하여 교미율을 결정하였다. 복숭아순나방 월동집단을 대상으로 세 종류의 교미교란제가 비교되었으며, 교미교란 효과는 수컷 유인력 감소, 신초피해 및 암컷 교미율을 상호 비교하였다. 야외 암컷은 테르피닐아세테이트 트랩에 수컷과 함께 유인되었다. 수컷의 정자주머니는 암컷의 교미낭과 유사한 크기를 가졌다. 교미교란제가 처리된 지역은 95% 이상의 수컷 유인력 저하를 나타냈으나, 사과의 신초 피해가 발생하였다. 한편 교미교란제가 처리된 지역에서 채집된 암컷의 교미율은 약 35% 이상을 나타내었다. 본 연구는 교미교란제 효능 분석에 수컷의 유인력 감소보다는 암컷의 교미율 판정이 보다 교미교란 효과를 작물피해로 연결시키는데 의미가 있다는 것을 보여주었다.

검색어 : 사과, 복숭아순나방, 교미교란, 교미율, 먹이트랩, 월동세대

*Corresponding author. E-mail: hosanna@andong.ac.kr

복숭아순나방은 중국 서북지역에서 유래되어 현재는 아시아, 유럽, 아메리카, 북부 아프리카, 중동, 뉴질랜드와 호주 등 많은 나라에서 핵과류와 함께 사과 등의 주요 과실에 피해를 주고 있다(Rothschild and Vickers, 1991). 복숭아순나방은 낮은 발생 밀도에서도 비교적 큰 피해를 주고 있으며, 새순에서 시작된 가해가 과실로 확산되면서 직접적인 경제적 손실로 연결된다는 점에서 철저한 관리를 해야하는 당위성을 갖게 하고 있다. 우리나라에서는 복숭아순나방은 연중 4-5회 발생하며, 복숭아는 물론 산업적으로 중요한 과수인 사과와 배를 가해하는 주요 나비목 해충으로 알려지고 있다(Ahn *et al.*, 1985; Yang *et al.*, 2001). 특히 여러 심식층류에서 볼 수 있듯이 일단 과실 속으로 들어가서 가해가 진행되기에, 방제가 어려워 다량의 약제 살포와 이에 따른 해충의 약제 저항성 및 환경과 식품의 안전성에 우려를 주고 있다(Pree *et al.*, 1998; Borchert *et al.*, 2004).

성페로몬을 이용한 교미교란제는 야외 특정 해충 개체군의 암수 교미통신을 교란시키는 데 기술적 원리를 가지고 있다(Baker and Heath, 2005). 성페로몬 화학통신의 특수성으로 특정 개체군만의 방제에 따른 자연계 생태학적 교란의 최소화 및 화학물질의 휘발성에 따른 무시할 수 있는 환경 잔류성을 고려하여 볼 때 본 기술은 환경친화형 해충방제 기술로 분류될 수 있다. 일부 연구에서는 교미교란제를 이용하여 야외 복숭아순나방 집단에 대해서 방제 효과가 입증되었다(Cardé and Minks, 1995). 우리나라에서도 국내 복숭아순나방 집단의 성페로몬 조성이 밝혀졌고(Boo, 1998), 이를 이용한 야외 집단의 모니터링(Yang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2004) 및 교미교란(Yang *et al.*, 2003; Jung *et al.*, 2006)이 시도되었으며, 이들 페로몬 성분들이 유기합성되었다(Kim *et al.*, 2006). 그러나 광범위한 면적에 대해서 교미교란제를 처리하지 않는 한, 우리나라 농가 현실에 비추어 특정 소규모 재배지를 대상으로 한 방제는 기술의 특성상 높은 방제효과를 기대하기 어려울 수 있다. 예를 들어, 교미교란제가 처리된 재배지에서 비록 암수의 교미통신은 교란되어 교미가 효과적으로 이뤄지지 않을 수 있으나, 이 해충의 이동거리에 있는 타 지역 재배지로부터 교미된 암컷의 이입에 의한 작물피해는 본 기술로도 막을 수 없다. 그러나 다른 여러 해충에서 보듯 교미교란제의 효과분석은 암컷 또는 합성성페로몬을 미끼로 교미교란제 처리지역의 수컷 유인억제를 분석함으로써 이뤄지고 있다(Fadamiro and Baker, 1999; Baker and Heath, 2005; Jung *et al.*, 2006). 그러나 보다 정확하고 간편한 교미교란제 처리 효과 판정은 교미교란

제 처리지역과 무처리지역에 서식하는 암컷의 교미율과 작물피해 정도를 조사하여 상호 비교함으로써 가능할 것이다(Rice and Kirsch, 1990). 본 연구는 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck)) 수컷의 유인력 억제라는 단순한 교미교란 효과 분석의 문제점을 파악하고, 이를 대체하기 위한 먹이트랩을 이용한 교미교란제 효과를 평가하였다. 기주탐색에 이용되는 섭식유인물질이 포함된 먹이트랩이 복숭아순나방 성충 모니터링에 이용되었다(Il'ichev *et al.*, 2002). 본 연구는 복숭아순나방 월동 성충 세대를 방제 대상으로 세 가지 다른 형태의 교미교란제를 사과원에 처리하고, 수컷 유인억제 효과와 암컷의 교미율을 조사하여 교미교란제의 효과를 비교 분석하였다.

재료 및 방법

조사지역 및 모니터링

농촌진흥청 원예연구소 사과시험장(경북 군위 소재)의 시험포장에서 각각 2,400여평 규모의 시험구를 준비하고, 교미교란제를 처리하였다. 시험구는 서로 10-20 m 정도 씩 떨어져 있고 델타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)에 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12 : Ac, E8-12 : Ac, Z8-12 : OH이 각각 88.5 : 5.7 : 1.0%의 비율로 포함되었다. 각 처리지역에서 바람의 방향을 고려하여 임의의 2개 지점에 트랩을 설치하였고, 4월 29일부터 6월 9일까지 6주간 모니터링하였다.

교미교란제 처리

세 종류(MD1, MD2, MD3)의 교미교란제가 시험구 포장에 처리되었다. MD1은 복숭아순나방 성페로몬성분(Z8-12 : Ac, E8-12 : Ac, Z8-12 : OH)을 각각 88.5 : 5.7 : 1.0% 비율로 혼합하여 폴리에틸렌 튜브에 합입한 것으로, 사과나무 가지에 꼬아서 처리하였다. 포장 1 ha 당 약 1,000개(약 160 g 페로몬 성분)가 설치되었다.

MD2는 복숭아순나방 성페로몬 성분(Z8-12 : Ac, E8-12 : Ac, Z8-12 : OH)이 85 : 6 : 1 질량비로 전체 성페로몬 제제의 0.0092%에 비활성 왁스분말(99.9908%)을 혼합하여 제조한 것으로, 전체 25 g의 열은 황색 페로몬 분말이 60 well 플레이트에 도포된 형태를 갖는다. 포장 1 ha 당 35개(87.5 g 페로몬 성분)를 설치하였다.

MD3는 성페로몬 성분(Z8-12 : Ac, E8-12 : Ac, Z8-12 :

OH이 87.3 : 3.6 : 9.1의 질량비로 전체 페로몬 제제의 0.16%)에 살충제 permethrin이 6.0%, 그리고 비활성 증량제가 93.8%를 차지한 제형이었다. 포장 1 ha 당 3,000개 (150 g 페로몬 성분)를 설치하였다.

암컷 먹이트랩 조제 및 설치

암컷 유인물질인 테르피닐아세테이트 용액(48.5 ml terpinyl acetate, 1.5 ml Tween 20, 50 ml 물) 20 ml를 10% 황색 설탕 용액 500 ml와 혼합하였다. 이 용액 1 l를 각 트랩(Efecto-fly trap, Avond Pty. Ltd., Western Australia)에 분주한 뒤, 눈높이 정도의 사과나무에 설치하였다. 매주 1회씩 포획된 암컷을 70% 에탄올 용액에 수거한 후, 트랩에 약 500 μ l의 테르피닐아세테이트 용액을 다시 첨가하여 유인력을 유지시키게 했다.

암컷 내부생식기 관찰

암컷의 교미 여부를 판단하기 위해서 교미낭에 존재하는 정자주머니가 관찰되었다. 정자주머니의 미세구조는 주사전자현미경(JSM-6300, Jeol)을 이용하였다. 분리된 정자주머니와 교미낭을 양면테이프를 이용하여 시료대에 부착시키고, 60°C 오븐에서 10분 동안 건조시켰다. 이후 Spurr Coater CP 3030 SCD 005/Baltec을 사용하여 금으로 증착한 뒤 주사현미경으로 15-25 KV에서 관찰하였다.

교미교란제 처리효과 조사

교미교란제 처리 후 1주일간격으로 처리지역의 수컷 집단을 6주 동안 모니터링하였고, 조사기간 동안 유인된 수컷의 누적 밀도로 처리간 비교하였다.

교미교란제 처리 효과를 과실 및 신초 피해로 분석하기 위해 처리 포장에서, 5개 지점(중앙: 1, 경계: 2, 사이: 2)에서 각 2-4 그루씩 그리고 각 나무당 50-100개 신초(상: 10-20, 중: 15-30, 하: 25-50)을 선발하여 총 1,000개를 조사하였다. 이 가지들에서 복숭아순나방 피해를 받은 어린 신초를 중심으로 피해수를 산출하였다.

결 과

교미교란제가 처리된 포장과 대조 포장에서 페로몬트랩에 유인된 복숭아순나방 수컷 수를 조사하였다(Fig. 1).

월동번데기로 부터 우화한 제1세대(월동세대) 복숭아순나방은 4월 말부터 발생하기 시작하여 5월초순에 최대 피크를 보이고 6월 초순까지 발생이 지속되는 것을 알 수 있다. 그러나 동일한 지역에서 교미교란제가 처리된 포장에서는 유인된 수컷의 밀도가 낮아 교미교란제의 효과가 있음을 보여주었다.

테르피닐아세테이트를 포함한 트랩은 암수 모두를 유인하였다. 연중 발생 기간 동안(5월부터 9월 중순까지) 먹이트랩 포획된 147마리 성충의 암컷의 비율을 보면, 월동세대를 포함한 5월 6일 - 5월 18일의 성충은 59.7%, 5월 19일 - 6월 2일의 성충은 53.0%, 그리고 7월 12일 - 9월 15일의 성충은 44.2%로서 시기별로 뚜렷한 차이 없이($\chi^2 = 3.669$; $df = 2$; $P = 0.160$) 평균 52.3%의 비율을 차지했다.

트랩에 유인된 암컷의 내부생식기 구조가 관찰되었다(Fig. 2). 교미된 암컷의 교미낭에서 수컷으로 전달된 정자주머니 구조가 관찰되었다. 이들 교미낭과 정자주머니의 외부 구조를 비교하기 위해 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 두 구조는 크기에서도 유사하여 약 폭이 1.9 mm로 동일하였고, 길이는 교미낭(평균 3.3 mm)이 정자주머니(평균 3.0 mm)에 비해 다소 길었다.

교미교란제가 처리된 지역과 대조구 사이에 성페로몬 트랩에 유인된 밀도는 큰 차이를 보였다(Fig. 3). 그러나 암수 모두를 유인할 수 있는 테르피닐아세테이트 트랩은 이러한 경향을 따르지 않았다(Fig. 3A). 한편 유인된 암컷의 교미율을 분석하면, 교미교란제 처리지역에서 대조구에 비해 낮은 교미율을 보였으며(Fig. 3B), 교미교란제 처리지역에서 대조구에 비해 낮은 신초피해를 보였다(Fig. 3C). 이들의 상호관계를 살펴보면, 페로몬트랩에 유인되는 수컷과 신초피해를 사이에는 높은 정의 상관관

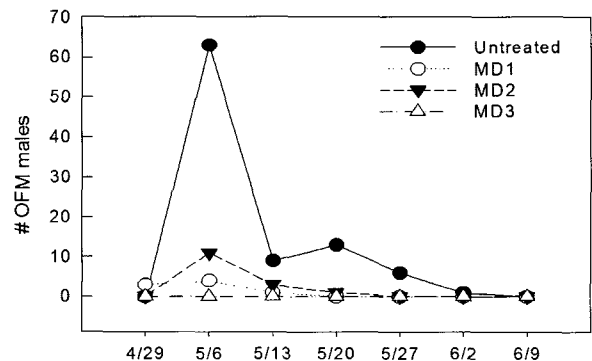


Fig. 1. Trap catches of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, to monitoring traps containing sex pheromone in apple orchards (0.5-0.8 ha), in which three mating disruptors ('MD1', 'MD2', and 'MD3') were deployed.

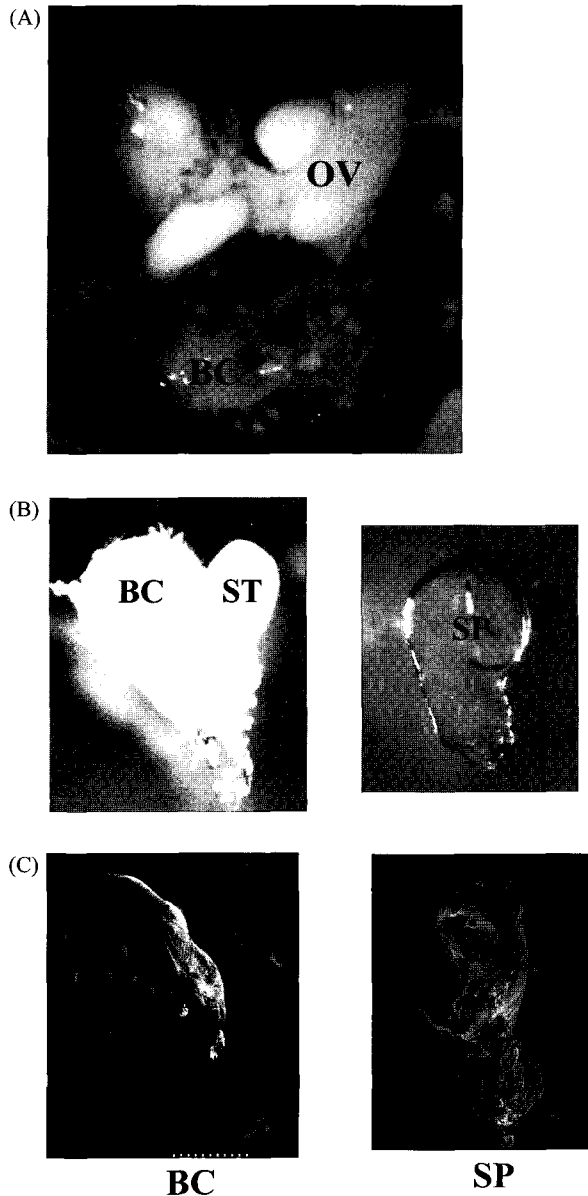


Fig. 2. Female reproductive organ of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*. (A) Overall organ structure showing ovary ('OV') and bursa copulatrix ('BC') and (B) specific part structures of spermatheca ('ST') and spermatophore ('SP') under a light microscope at 25 x and 50 x, respectively. (C) Ultrastructures of BC and SP photographed under SEM (500 x).

계($r = 0.9878$, $P = 0.0122$)를 보였고, 유사한 높은 정의 상관관계가 암컷교미율과 신초피해율 사이($r = 0.9107$, $P = 0.0893$)에도 나타났다. 그러나 주목할 사실은 교미교란제 처리지역에서 비교적 높은 비율로 교미암컷을 포획하였고, 성페로몬 트랩 유인수로 환산할 때 100%의 교미교란제 효과가 나타난 'MD3' 처리구에서도 신초피해가 있었으며, 교미된 암컷도 확인되었다.

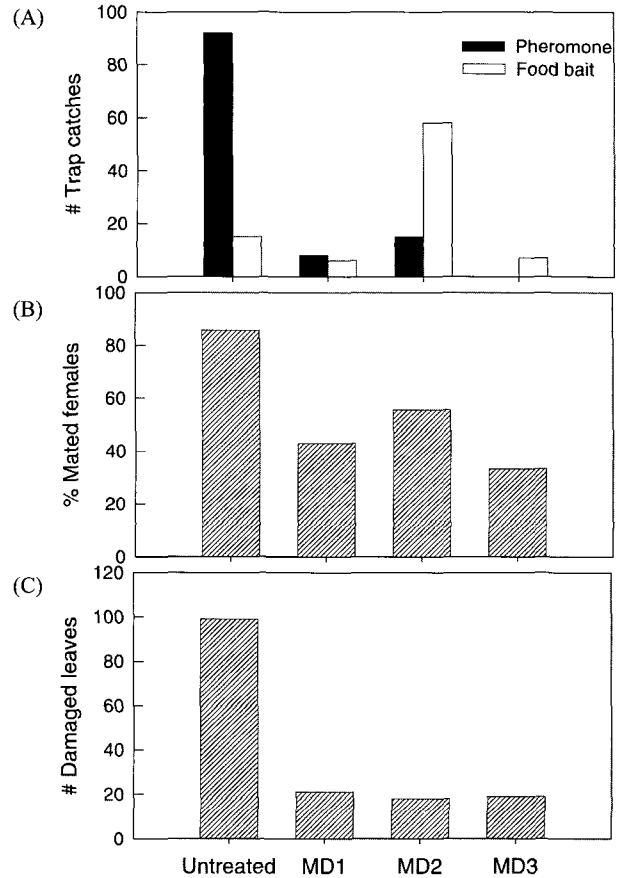


Fig. 3. Comparison of efficacy assessments of mating disruption on the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*. (A) Two different traps were used to monitor males with pheromone bait ('Pheromone') or both sexes with terpinyl acetate ('Food bait'). The trap catches represent cumulative numbers of males for six weeks in each treatment. (B) Mated females were assessed by the presence of spermatophore in the bursa copulatrix in the females caught by the food bait trap. (C) Damaged young leaves were counted from randomly-chosen 100 branches per orchard.

고 찰

복숭아순나방을 대상으로 교미교란제 성페로몬 연구가 국내외에서 진행되고 있다(Cardé and Minks, 1995; Yang *et al.*, 2003; Jung *et al.*, 2006). 이 교미교란의 원리는 크게 두 가지의 원리로 대상 해충의 성공적 교미를 방해한다(Baker and Heath, 2005). 첫 번째로는 여러 미끼를 야외에 방사시키는 꼴이 되어 야외 수컷이 정확히 암컷을 찾아가지 못하게 하는 오류추적("False trail") 효과에 기인될 수 있다. 두 번째로는 상시적으로 인공 성페로몬에 노출된 수컷에게 감각둔화 또는 습관화에 이르게 하여

야외 암컷의 성페로몬에 반응하지 않게 하는 효과를 유발하게 한다. 본 연구는 복숭아순나방에 대해서 교미교란제의 효과를 분석하기 위해 수컷 유인용 트랩에 유인되는 수컷 밀도를 측정하는 방식과 암컷을 포획하여 교미율을 직접 검정하는 방식을 비교하였다.

암컷을 유인할 수 있는 테르피닐아세테이트 트랩의 유용성이 분석되었다. 본 트랩은 성충의 섭식유인제 효과를 이용한 것의 결과(II'chev et al., 2006)에서 보듯이 암수 모두를 유인하는 것으로 판명되었다. 이 먹이트랩은 복숭아순나방의 야외 연중 발생을 모니터링하는 데도 이용되고 있다(II'chev et al., 2002). 본 연구는 이러한 기반 위에 먹이트랩에 유인되는 암컷의 교미율을 판단하여 교미교란제의 교미교란 효율을 분석하려 하였다. 교미 암컷을 판단하는 데 암컷의 교미낭에 존재하는 정자주머니의 구조 관찰이 필요하였다. 이를 위해 먹이트랩에 포획된 암컷의 내부생식기를 중심으로 교미낭 구조와 정자주머니 구조를 관찰하여, 이를 복숭아순나방 암컷의 교미율을 결정하는 형태적 지표로 이용하게 하였다. 교미된 암컷의 교미낭에는 1개 이상의 정자주머니를 발견하지 못했다(미발표자료). 이는 복숭아순나방의 단일교미 습성(Charlton and Cardé, 1981)에서 기인된 것으로 사려되고, 이러한 교미 습성은 교미교란제의 방제 가능성을 높여주는 생물적 특징으로 평가될 수 있다(Cardé and Minks, 1995).

세 가지 상이한 교미교란제의 효과를 페로몬 트랩에 유인되는 수컷의 포획 밀도로 판정하여 보면 월동세대의 복숭아순나방의 교미교란을 유발시켰다. 즉, 세 가지 다른 교미교란제 처리는 교미교란효과 및 암컷 교미율 억제 효과에서 교미교란제 처리간 모두 통계적으로 차이가 없었지만 대조구와는 월등한 차이를 보였다. 본 연구에서의 'MD1'과 유사한 형태의 교미교란제가 복숭아순나방을 대상으로 처리되어, 수컷의 유인력 억제는 물론 작물피해를 현격하게 줄였다는 보고가 있었다(Kovanci et al., 2005; Jung et al., 2006). 이러한 교미교란은 실내 풍동장치를 통한 분석 결과에서 보듯(Sanders and Lucuik, 1996) 자연계에서 합성페로몬 자취 추적에 따른 암컷오류인식에 기인하여 초래되었을 것으로 추정된다. 그러나 암컷 포획 트랩에 유인된 암컷을 분석한 결과 교미교란 처리지역에서도 교미된 암컷이 다수 발견되었다. 또한 이들 포장에서는 복숭아순나방의 유충에 기인된 신초의 피해가 유발된 것으로 보아 교미된 암컷의 차세대에 기인된 피해로 여겨진다. 여기서 우리는 이러한 상이한 교미교란 판정에 대해서 원인을 분석하고자 한다. 복숭아순나방에 기인된 작물

피해를 우선 교미교란제 효과 판정의 기준으로 삼을 수 있다. 효과적 교미교란제를 선별하는 데 기준은 이 기술을 적용한 포장에서 작물의 피해를 억제함으로 방제의 목적을 달성하게 하여야 된다. 본 연구에서처럼 성페로몬 트랩에 유인된 수컷이 적거나 없는 경우에도 작물의 피해가 일어났다면 이는 불완전한 교미교란 효과에 따른 성공적 교미가 처리 포장에 있었다는 가능성과 완전한 교미교란 효과가 있었지만 외부로부터 교미된 암컷이 처리포장으로 유입되었다는 가능성으로 나누어서 생각해볼 수 있다. 이러한 가능성들은 처리 시기가 월동세대를 겨냥하였기 때문에 포장 내에서 이전 세대에 잔류하는 유충이 없었을 것이고, 작물피해 분석이 교미교란제 처리이후에 발생한 신초를 대상으로 평가되었기에 결과에서 나타난 작물피해는 교미교란제 처리가 진행되고 있는 상황에서 비롯되었다는 점에 기초하고 있다. 대조구에서 암컷의 교미율이 약 80% 이상인 반면에 교미교란제 처리 포장에서는 약 40%를 보이고 있어, 상당한 숫자의 교미된 암컷이 교미교란제가 처리된 포장에 존재하였다고 볼 수 있다. 포장의 조건은 처리된 포장이 대조구에 비해 근거리에서 위치하였다는 점을 주시할 필요가 있다. 즉, 약 100-300 m 떨어진 포장들 사이에 복숭아순나방의 이동이 가능하였을 것으로 추정된다. 일반적으로 대부분의 복숭아순나방의 성충 이동은 약 200 m 이상을 초과하지 않는 것으로 알려지나, 일부 개체들은 1 km를 초과하여 비행한다고 한다(Rothschild and Vickers, 1991). 이러한 인접 무처리 지역으로부터 교미 암컷의 유입을 억제하기 위한 노력으로 처리지역 가장자리에 집중적으로 교미교란제를 배치함으로 바람의 방향에 따라 교미교란 효과가 낮아질 수 있는 사각지역을 보호하며, 인근의 암컷의 유입을 현격하게 줄일 수 있었다고 보고하였다(II'ichev et al., 2004).

이상의 결과들을 종합하여 보면, 수컷 유인트랩으로 측정된 교미교란 효과를 살펴보면, 교미교란제 처리지역에서 교미교란 효과가 확인되었다. 그러나 먹이트랩을 통해 확인된 교미된 암컷의 존재는 교미교란제 처리의 한계성을 제시하고 있다. 즉, 복숭아순나방의 이동성을 고려하여 볼 때 광범위한 지역에서 교미교란제를 처리하지 않는 한 이웃의 무처리 지역 또는 기타 방제법으로 처리된 지역에서 교미된 암컷이 유입하여 피해를 일으킬 수 있음을 의미하고 있다. 추후 성페로몬을 이용한 교미교란제의 방제효과를 기대하고자 한다면 주변 지역으로부터 교미한 복숭아순나방의 이동을 억제할 수 있도록 가능한 광범위한 지역을 동시에 처리하거나 또는 교미교란제 처리지역으로 이동하여 오는 집단을 차단할 수 있는 수단과 혼용

한 방제 전략이 수립되어야 한다고 본 연구는 제시하고 있다.

사 사

본 연구는 농림기술관리센터에서 지원한 2006년도 농산업기술개발사업으로 수행되었습니다. 배성우는 교육부의 2단계 BK21 사업 지원으로 본 연구를 수행하였다.

Literature Cited

- Ahn, S.B., H.W. Koh and Y.I. Lee. 1985. Study on apple pests and natural enemy. Res. Rept. RDA. Crop Protection: 417-428.
- Baker, T.C. and J.J. Heath. 2005. Pheromones: function and use in insect control. pp. 407-459. *In* Comprehensive molecular insect science. Vol. 6, eds. by L.I. Gilbert, K. Iatrou and S.S. Gill. Elsevier, New York.
- Borchert, D.M., R.E. Stinner, J.F. Walgenbach and G.G. Kennedy. 2004. Oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) phenology and management with methoxyfenozide in North Carolina apples. *J. Econ. Entomol.* 97: 1353-1364.
- Boo, K.S. 1998. Variation in sex pheromone composition of a few selected lepidopteran species. *J. Asia-Pacific Entomol.* 1: 17-23.
- Cardé, R.T. and A.K. Minks. 1995. Control of moths by mating disruption: successes and constraints. *Annu. Rev. Entomol.* 40: 559-585.
- Charlton, R.E. and Cardé, R.T. 1981. Comparing the effectiveness of sexual communication disruption in the Oriental fruit moth (*Grapholita molesta*) using different combinations and dosages of its pheromone blend. *J. Chem. Ecol.* 7: 501-508.
- Fadamiro, H.Y. and T.C. Baker. 1999. Reproductive performance and longevity of female European corn borer, *Ostrinia nubilalis*: effects of multiple mating, delay in mating, and adult feeding. *J. Insect Physiol.* 45: 385-392.
- Il'ichev, A.L., D.G. Williams and A.D. Milner. 2004. Mating disruption barriers in pome fruit for improving control of oriental fruit moth *Grapholita molesta* Busck (Lep., Tortricidae) in stone fruit under mating disruption. *J. Appl. Entomol.* 128: 126-132.
- Il'ichev, A.L., L.L. Stelinski, D.G. Williams and L.J. Gut. 2006. Sprayable microencapsulated sex pheromone formulation for mating disruption of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in Australian peach and pear orchards. *J. Econ. Entomol.* 99: 2048-2054.
- Il'ichev, A.L., L.J. Gut, D.G. Williams, M.S. Hossain and P.H. Jerie. 2002. Area-wide approach for improved control of oriental fruit moth *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) by mating disruption. *Gen. Appl. Entomol.* 31: 7-15.
- Jung, S., C. Park, M. Park, S. Lee, K. Choi, Y. Hong and Y. Kim. 2006. Efficacy of commercial mating disruptors on field overwintering populations of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck). *Kor. J. Appl. Entomol.* 45: 235-240.
- Kim, D.S., K.S. Boo and H.Y. Jeon. 2004. Evaluation of pheromone lure of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) and forecasting its phenological events in Suwon. *Kor. J. Appl. Entomol.* 43: 281-289.
- Kim, Y., S. Bae, S. Bae, H. Yoon and Y.P. Hong. 2006. Chemical synthesis and orientation disruption bioassay of sex pheromone of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck). *Kor. J. Appl. Entomol.* 45: 309-316.
- Kovanci, O.B., C. Schal, J.F. Walgenbach and G.G. Kennedy. 2005. Comparison of mating disruption with pesticides for management of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) in North Carolina apple orchards. *J. Econ. Entomol.* 98: 1248-1258.
- Pree, D.J., K.J. Whitty, L. van Driel, G.M. Walker and L. Van Driel. 1998. Resistance to insecticides in oriental fruit moth populations (*Grapholita molesta*) from the Niagara Peninsula of Ontario. *Can. Entomol.* 130: 245-256.
- Rice, R.E. and P. Kirsh. 1990. Mating disruption of oriental fruit moth in the United States. pp. 193-211. *In* Behavior-modifying chemicals for insect management, eds. by R.L. Ridgway, R.M. Silverstein and M.N. Inscoe. Dekker, New York.
- Rothschild, G.H.L. and R.A. Vickers. 1991. Biology, ecology and control of the oriental fruit moth. pp. 389-314. *In* World crop pest. Vol. 5. Tortricid pests: their biology, natural enemies and control, eds. by L.P.S. van der Geest and H.H. Evehnius. Elsevier, Amsterdam.
- Sanders, C.J. and G.S. Lucuik. 1996. Disruption of male Oriental fruit moth to calling females in a wind tunnel by different concentrations of synthetic pheromone. *J. Chem. Ecol.* 22: 1971-1986.
- Yang, C.Y., K.S. Han and K.S. Boo. 2001. Occurrence of and damage by the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) in pear orchards. *Korean J. Appl. Entomol.* 40: 117-123.
- Yang, C.Y., K.S. Han, J.K. Jung, K.S. Boo and M.S. Yiem. 2003. Control of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae) by mating disruption with sex pheromone in pear orchards. *J. Asia-Pacific Entomol.* 6: 97-104.

(Received for publication April 6 2007;
accepted April 26 2007)