

재배환경이 상이한 사과원에서 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 교미교란제 처리에 의한 기주 피해 억제 효과 비교

정성채¹ · 김용균*

안동대학교 생명자원과학과, ¹㈜그린아그로텍

Comparative Analysis to Damage Reduction of Host Plant by Applying a Mating Disruptor of the Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* in Two Different Cultivation Environments of Apple Orchard

Sungchae Jung¹ and Yonggyun Kim*

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

¹Green Agro Tech, Inc. Kyongsan 712-240

ABSTRACT : This study demonstrates a variability in efficacy of mating disruption against the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, populations infesting apples cultivated in differential environmental conditions. Throughout the growing seasons, trap catches of *G. molesta* male moths and damaged leaf and fruit were examined to evaluate the efficacy of a commercialized mating disruptor. Treatment of the mating disruptor significantly reduced the trap catches of male moth in treated plot, compared to those of the untreated plot. This reduced trap catches were significantly correlated with leaf and fruit damage. Moreover, the highest host damage occurred in June just after the highest overwintering adult peaks in both plots. The treatment of mating disruptors in Chungsong effectively disrupted the overwintering population in April and May, resulting in no noticeable host damage during the following growing seasons. However, there was a marked difference in host damage between two plots, especially in late seasons. Variation in the efficacy of mating disruption technology in terms of host damage appeared to be related with nearby pheromone-untreated orchards, which may result in the immigration of gravid females.

KEY WORDS : Apple, *Grapholita molesta*, Mating disruption, Monitoring, Sex pheromone

초 록 : 본 연구는 재배환경이 상이한 두 사과원에서 사과 과실 및 신초에 피해를 주고 있는 복숭아순나방 (*Grapholita molesta*)의 성페로몬을 이용한 교미교란기술의 효과를 검토하는 연구로 재배환경이 다른 지역간에 교미교란효과에 변이가 있을 수 있다는 것을 보여주었다. 효과 검토는 두 지역에서 각각 처리구와 무처리구를 설치하고 각각 시간 경과에 따른 복숭아순나방 성페로몬 트랩에 유인되는 수컷의 밀도와 복숭아순나방에 의한 기주작물 피해도 조사되어 분석되었다. 교미교란 기술은 복숭아순나방의 수컷 포획밀도를 무처리구에 비해 현격하게 낮추어 두 처리지역 모두에서 교미교란효과가 있었음을 나타냈다. 이때 수컷 유인밀도는 기주 식물의 피해와 뚜렷한 상관관계를 이루어, 월동세대의 높은 성충 발생피크는 바로 다음 세대(6월)의 높은 기주피해를 유발시켰다. 청송 포장의 경우 월동세대(4-5월 성충피크)의 교미교란제 처리 효과가 높았으며 이는 이어지는 복숭아순나방 발생 기간동안 기주 피해는 물론이고 차세대 성충 발생밀도를 낮추는 효과를 나타냈다. 그러나 생육 후기의 기주 피해분석에서 두 포장은 뚜렷한 교미교란 방제 효과 차이를 보였다. 교미교란 효과 차이는 이들 두 사과원의 인근 무방제지역의 분포 차이에 기인된 것으로 교미한 암컷의 유입 가능성을 제시하였다.

검색어 : 사과, 복숭아순나방, 교미교란, 모니터링, 성페로몬

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

교미교란 기술은 대상 해충의 성페로몬을 유기 합성하여 서식지에 대량으로 살포하여 줌으로 발생지역 내의 대상해충의 교미를 방해하여 차세대 밀도를 줄이는 방법으로 개발된 해충방제 기술이다(Baker and Heath, 2005). 성페로몬은 종 특이적이며 극미량으로도 암수의 통신에 효과적으로 이용된다는 점에서 이를 응용한 방제 기술 개발이 기대된다고 볼 수 있다(Boo *et al.*, 2005). 특히, 나방류의 경우 교미통신은 해가 진 저녁 무렵부터 다음날 해가 뜨기 전 새벽까지 시간보다는 주로 후각에 의존하기 때문에 성페로몬을 이용한 교미교란은 더욱 효과적일 수 있다(Cardé and Mink, 1995). 비록 성페로몬이 화학물질이지만 극미량으로 살포되고 또한 휘발성이 높아 잔류성이 없기 때문에 방제효과만 보장된다면 친환경적 해충방제 기술로서 농가 적용이 가능하게 된다. 이 기술이 적용 가능한 해충으로 최근 들어 사과원의 과실에 피해를 주고 있는 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)이 주목받고 있다(Kim *et al.*, 2007b).

복숭아순나방은 연중 4-5회 성충 발생 피크를 보이며 유충은 사과, 배 등 핵과류의 과실을 직접 가해하는 일차 해충이다(Ahn *et al.*, 1985). 사과의 경우 과실에 직접 피해를 주는 나방류로 복숭아순나방과 더불어 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)을 포함시키는데, 복숭아순나방의 발생 밀도가 커서 사과 과실에 직접 경제적 손실을 끼치는 최대 주요 해충으로 여겨지고 있다(Song *et al.*, 2007). 그러나 피해를 주는 발육단계인 유충이 과실 내부에서 가해하고 있기 때문에 살충제의 직접 접촉이 어렵고 이에 따른 다량의 화학농약 살포는 약제 저항성까지 발달시킬 수 있다는 보고가 있어 방제의 어려움을 가중시키고 있다(Pree *et al.*, 1998; Kanga *et al.*, 2001; Usmani and Shearer, 2001). 또한 이 해충의 의한 과실 피해는 화학농약의 살포가 제한적인 사과 수확직전기간까지 미쳐 필연코 다른 방제 기술이 요구되고 있다.

복숭아순나방의 성페로몬 성분이 밝혀지면서(George, 1965; Cardé *et al.*, 1979) 이 해충의 방제 기술의 하나로서 교미교란이 제안되었다. 외국의 경우 포장에서 집중적으로 현장 검증이 이루어졌으며, 다량의 합성페로몬을 처리하는 경우 수컷으로 하여금 암컷의 탐색 능력을 저하시키고, 이러한 효과가 화학 농약의 방제효과와 견줄 수 있다고 보고하였다(Rothschild, 1975, 1979).

국내에서도 복숭아순나방 집단에 효과적 페로몬 조성이 밝혀졌고(Boo, 1998), 이를 이용한 야외 집단의 모니터링(Yang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2004) 및 교미교란기술(Yang *et al.*, 2003)이 시도되었다. 또한 복숭아순나방의

성페로몬 화합물에 대한 유기합성 기술이 개발되었고(Kim *et al.*, 2006), 상품화된 교미교란제를 이용하여 월동 세대를 효과적으로 교란시킬 수 있는 가능성을 보여 주었다(Jung *et al.*, 2006). 그러나 교미교란제를 이용하여 복숭아순나방을 방제하는 기술을 국내에 이상적으로 적용하기 위해서 국내 사과 농가의 현실이 고려한 기술이 요구된다. 즉, 대체로 소규모인 국내 개별 사과원을 고려할 때, 대단위로 처리하여 교미교란 효과를 나타내는 외국의 성공 사례(Kovanci *et al.*, 2005)를 국내 농가에서 기대하기에는 어려움이 따를 수 있다. 이는 복숭아순나방의 교미반경이 개별 국내 농가의 사과원 규모보다 충분히 클 수 있기 때문에 인근의 무처리 농가의 교미된 암컷이 처리 농가로 유입이 가능할 수 있기 때문이다. 이를 해결하기 위해서는 광범위한 교미교란제 처리가 이뤄지든지 아니면 인접한 비처리 지역으로부터 유입되어 오는 교미된 암컷을 특이적으로 차단할 수 있는 장치가 요구된다.

본 연구는 재배환경이 상이한 두 사과원을 대상으로 동일한 교미교란제를 처리한 후 복숭아순나방 방제 효과를 수컷 유인억제율과 기주피해 정도로 대별하여 평가하였고, 야외 조건에서 교미교란제 처리할 때 문제점을 파악하려는 목적으로 시도되었다.

재료 및 방법

처리 지역 포장 조건

국내 사과 집중 재배 지역 가운데 청송과 영주의 2개 지역에서 재배환경이 서로 차이를 보이는 두 포장을 선발하였다(Fig. 1). 청송 포장은 평지에 위치하며 주변의 세 개 사과원이 불과 7-30 m의 간격으로 위치하고 있다. 처리 사과원으로부터 가장 가깝고 비교적 규모가 큰 약 1 ha 정도 사과원에 교미교란제가 처리되었고, 반면 비교적 작은 두 사과원은 규모가 약 0.4 ha 정도로 무처리 사과원으로 배치하였다(Fig. 1A). 품종은 후지, 쓰가루 및 홍로가 혼재되어 있고 대목은 MM106과 M9가 이용되었다. 개화는 4월 28일경이었다. 영주 포장은 산악지형에 위치하고 있으며, 주변의 과원과는 10-50 m 간격으로 떨어져 위치했다. 주변 모든 사과원에는 교미교란제가 처리되지 않은 일반 재배지였고, 이 가운데 가장 멀리 위치한 사과원을 무처리구로 이용하였다. 교미교란제 처리 포장 면적은 약 0.67 ha이고 무처리 포장은 약 0.4 ha 규모로 배치하였다(Fig. 1B). 품종은 청송 포장과 마찬가지로 후지, 쓰가루

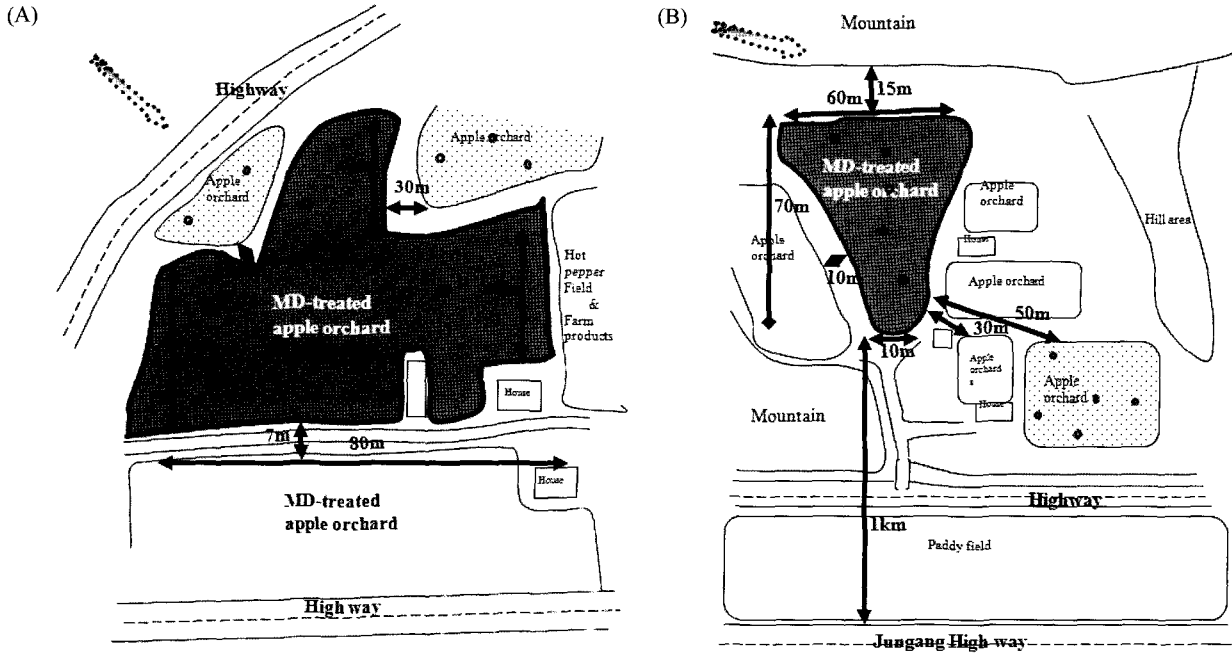


Fig. 1. Field maps of apple farms used for evaluating the efficacy of a commercialized mating disruptor (Isomate Rosso OFM, CBC, Japan) of *Grapholita molesta* in Chungsong (A) and Youngju (B). A dispenser containing 264.3 mg of *G. molesta* sex pheromone was hung on each apple tree in the treated farm (black-colored), compared to the untreated farm (dotted). Circles indicate places of sex pheromone traps. Arrows indicate major wind directions to the test fields.

및 홍로가 혼재되어 있고, 대목은 M9가 이용되었다. 개화는 청송포장보다 일주일 빠른 4월 20일경에 이뤄졌다. 조사기간 동안 두 포장은 6월에 진딧물 살충제 imidacloprid 1회, 살비제 flufenoxuron과 ethofenprox가 5-7월 기간에 3-4회 살포되었다.

복숭아순나방 야외집단 모니터링

복숭아순나방 예찰은 델타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)으로 사용하였으며, 여기에 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH를 각각 88.5 : 5.7 : 1.0%로 포함한 루어를 설치하였다. 각 처리지역에서 바람의 방향을 고려하여 임의의 5개 지점에 트랩을 4월 13일 설치하여 10월 21일까지 모니터링하였다.

교미교란제 처리 내용 및 효과 조사

상용화된 Isomate[®] ROSSO OFM (CBC, Tokyo, Japan) 교미교란제를 각기 다른 두 포장의 사과나무 가지에 고리 형태로 꼬아서 한 사과나무에 1개씩 처리하였다. 각 튜브

에 페로몬성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 88.5 : 5.7 : 1.0% 비율로 전체 264.3 mg 들어있으며, 기타 불활성 성분이 4.8% 포함되어 있다. 1 ha 포장에 약 600개(약 160 g 페로몬 성분)가 설치되었다.

재배환경이 상이한 두 지역 사과원에 교미교란제가 월동세대 성충 우화시기 이전인 4월 13일에 처리되었다. 교미교란제 처리 후 1주일 간격으로 전 조사기간 동안 예찰트랩으로 수컷 집단의 모니터링하였다. 처리간 효과 비교는 조사기간 누적 유인 수컷 밀도를 이용하였다. 또한 교미교란제 처리 효과를 과실 및 신초 피해로 분석하기 위해 처리 포장에서 5개 지점(중앙 : 1, 경계 : 2, 사이 : 2)에서 각 5 그루씩, 그리고 각 사과나무 당 20개 과실(신초) (내부 : 10개, 외부 : 10개)을 선발하여 총 500개를 조사하였다.

통계분석

조사 자료가 100분율인 경우는 arcsine으로 전환 후 ANOVA 분석하였다. SAS 프로그램(SAS Institute, 1988)의 PROC GLM을 이용하여 one-way ANOVA를 실시하였으며, 상관분석은 PROC CORR을 이용하였다.

결 과

교미교란제 처리 후 복숭아순나방 성충 밀도 변동

복숭아순나방의 최초발생은 영주의 경우 무처리구에서 4월 29일, 청송은 5월 13일 기록되었다(Figs. 2A, 3A). 약 2주의 발생시기 차이를 보였다. 개화시기도 약 8일 가량 영주 포장이 빨랐다. 이후 청송의 무처리구로 볼 때, 6월 중순, 7월 하순, 8월말-9월말의 4개 성충 피크를 기록했다. 영주의 경우 월동피크 이후 6월 중순, 7월 초, 7월 하순, 9월 하순의 5개 성충 피크를 보였다. 무처리구에서 전체 모니터링된 수컷의 누적밀도는 영주 포장에서 266마리, 청송 포장에서 145마리로 영주 포장이 청송 포

장에서 보다 발생 밀도가 높았다. 교미교란제가 처리된 경우 청송의 경우 초기 2개 성충 피크는 동시성을 가졌으나, 3번째 성충 피크는 처리구에서 약 2주 늦게 나타났다. 영주의 경우는 무처리구에서 5개 성충피크를 보인 반면 처리구에서는 4개의 성충 피크를 보였고, 초기 2개 성충 피크는 동시성을 보였으나, 7월 초 피크는 나타나지 않으면서 후기 2개의 피크는 오히려 처리구에서 1-2주가량 빠르게 진전되었다. 두 지역 모두에서 수컷의 유인밀도로 분석된 교미교란효과는 무처리구에 비해 유의성있는 차이를 보인다고 분석되었다(Table 1). 수컷 유인 억제 효과 측면에서 두 지역간 교미교란 효과를 비교하면 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났지만, Jung *et al.* (2006)이 제시한 누적밀도에 기인된 교미교란효과를 산출하면 청

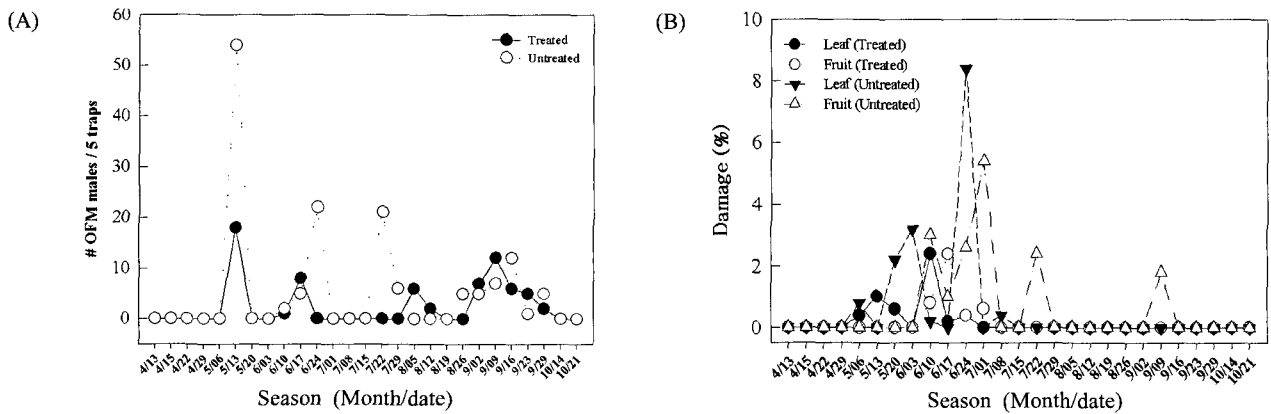


Fig. 2. Application of a commercialized mating disruptor (Isomate Rosso OFM, CBC, Japan) on population of *Grapholita molesta* in an apple orchard of Chungsong. (A) Effect on mating disruption measured by male trap catches ("Treated") compared to those of no mating disruptor application ("Untreated"). Five pheromone traps were installed in each of both 1 ha plots. (B) Leaf and fruit damages caused by OFM larvae in each of treated and untreated plots.

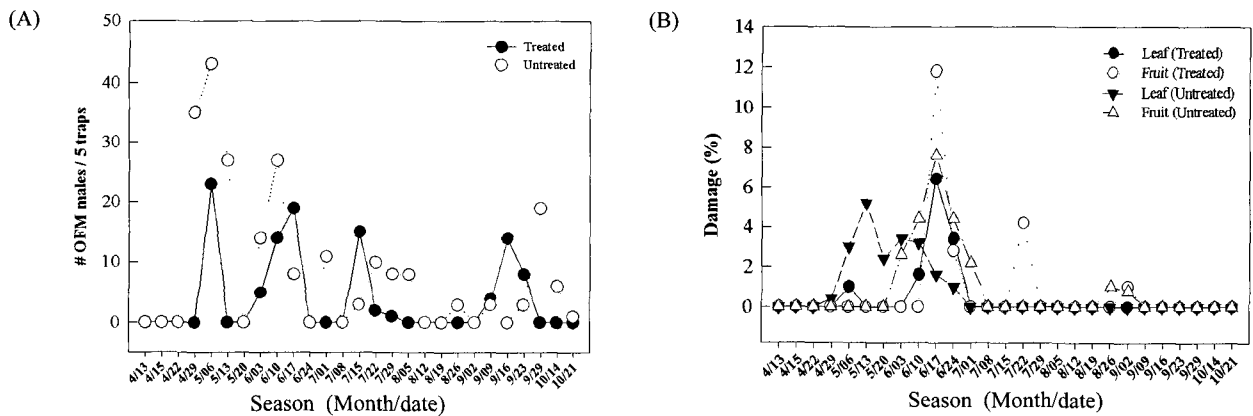


Fig. 3. Application of a commercial mating disruptor (Isomate Rosso OFM, CBC, Japan) on population of oriental fruit moth ("OFM"), *Grapholita molesta*, in an apple orchard of Youngju. (A) Effect on mating disruption measured by male trap catches ("Treated") compared to those of no mating disruptor application ("Untreated"). Five pheromone traps were installed in each of both 1 ha plots. (B) Leaf and fruit damage caused by OFM larvae in each of treated and untreated plots.

Table 1. ANOVAs of mating disruption effect (=decrease of male catches) on *Grapholita molesta* in two different apple orchards ('Farm') treated with a commercialized mating disruptor ('MD') (Isomate Rosso OFM, CBC, Japan)

Source	df	SS	MS	F	P
Farm	1	131.12	131.12	1.55	0.2160
MD	1	366.68	366.68	4.33	0.0398
Farm*MD	1	17.12	17.12	0.20	0.6538
Error	104	8800.00	84.62		
Total	107	9314.92			

Table 2. Correlation coefficients (r) between male populations detected by pheromone trap (male catches) and host plant damage caused by *Grapholita molesta*

Comparison	r	P
Male catches vs Leaf damage	0.4451	<0.0001
Male catches vs Fruit damage	0.1660	0.0860
Leaf damage vs Fruit damage	0.6098	<0.0001

송이 46.2%, 영주가 39.5%로 청송 집단에서 다소 산술적으로 높은 교미교란을 보였다.

교미교란제 처리 후 사과나무 기주피해 억제 효과

상기에 기술한 바와 같이 두 지역 사과원에 교미교란제 처리되어 수컷의 유인력을 교란하는 효과를 조사하였고, 이러한 성충 세대 교미교란 효과가 차세대 유충에 의해 나타나는 기주 사과의 피해를 억제하였는지 여부를 분석하였다(Figs. 2B, 3B). 기주 피해는 신초 피해로부터 일어나서 영주와 청송의 무처리구 경우 모두 5월 6일에 최초 피해가 나타난 반면, 과실 피해의 경우는 영주가 6월 3일, 청송이 6월 10일에 각각 나타났다. 이는 영주 포장의 경우 월동세대 성충 발생이후 일주일 이후에 신초피해가 나타난 것을 의미하나, 청송의 경우는 오히려 신초피해가 성충 발생 피크보다 일주일 앞서서 나타나는 현상을 보여 아마도 월동 유충의 피해 흔적으로 추정되고 있다. 이러한 기주 피해 증상은 월동세대 이후 성충 발생 피크와 상관관계를 보였다(Table 2). 물론 신초 피해와 과실피해 사이에는 높은 상관관계를 보여 성충의 발생밀도 조절이 사과 과실의 생산성에 직접 영향을 줄 수 있다는 것을 의미하고 있다.

이러한 성충 피크와 기주 피해의 관계 속에서 교미교란제를 처리한 경우 초기 월동세대의 높은 밀도에 기인된 것으로 추정되는 7월초까지의 신초 및 과실 피해이후 나타나지 않았다. 또한 초기 신초 및 과실피해도 무처리에 비해 현격하게 낮은 수준을 보였다. 반면에 영주 집단의 경우 무처리에 비해 처리구에서 신초피해는 낮았지만, 과실피해는 높았다. 또한 피해도 사과재배 전체시기에

걸쳐 보였다. 두 포장의 기주피해를 비교하면 영주가 청송에 비해 높은 신초($F = 4.25$; $df = 1, 104$; $P = 0.0417$) 및 과실($F = 4.49$; $df = 1, 104$; $P = 0.0365$) 피해를 보였다.

고찰

성페로몬을 이용한 교미교란의 원리는 크게 두 가지의 원리로 대상 해충의 성공적 교미를 방해한다(Baker and Heath, 2005). 즉, 첫 번째로는 여러 미끼를 야외에 방사시키는 풀이 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 연구에 사용된 복숭아순나방은 단일교미 습성(Charlton and Cardé, 1981)을 갖고 있는데, 이것이 교미교란제 이용 기술 적용의 가능성을 높여주는 생물적 특징으로 평가될 수 있다(Cardé and Minks, 1995). 그러나 이러한 교미교란의 원리 속에서 국내 개별 농가 현실로 조명하여 보면, 교미교란기술을 확대 적용하는 데는 아직도 풀어야 할 문제점들이 있다. 첫째로 교미교란에 대한 기술적 신뢰가 대두된다. 피해는 유충기에 일어나지만, 방제 초점은 성충 밀도, 그것도 수컷에 있다. 이러한 비교적 간접적 방제 초점은 본 교미교란 기술을 산업 현장에 접목하는 데 가장 크게 저해하는 인자라 할 수 있다. 본 연구 결과는 이러한 의문점에 객관적 개연성을 보여주었다. 즉, 기주 사과피해는 성충밀도와 상관성을 보여주었으며, 특별히 청송지역

에 나타난 교미교란효과는 7월 중순이후의 기주피해를 완전히 억제하는 결과를 초래했다.

둘째로 교미교란제의 특성상 국내와 같이 비교적 좁은 재배지에서는 개별 농가 수준으로 처리 범위를 국한 시킬 경우 효과를 거두기 어렵다는 것이다. 비행능력이 뛰어난 나비목 해충들이 비처리지역의 외부에서 이주해 들어올 수 있는 거리에 있다면, 교미교란의 효과는 매우 희석될 것이다. 본 연구는 이러한 교미교란 기술을 야외 농가에 적용하면서 나타나는 문제점을 찾고자 복숭아순나방의 발생밀도 억제 및 과실피해 감소효과가 재배환경이 상이한 두 농가를 통해 비교 분석되었다. 두 사과원은 모두 불과 50 m 이내에 주변 사과원들로 둘러싸여진 전형적 국내 사과 재배지의 지리적 재배 여건을 대변하고 있다. 여기에 영주 지역은 주변이 모두 교미교란제를 처리하지 않은 환경이고, 청송은 인근의 대단위 교미교란 지역에 접해 있었다. 동일한 교미교란제가 동일한 투여량으로 처리되었다. 이때 나온 결과는 청송 지역의 복숭아순나방 기주 피해가 영주지역에 비해 현저히 낮은 것으로 보였다. 그러나 두 지역의 수컷 유인억제라는 교미교란효과에서 보면 두 지역은 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 유사한 교미교란 효과 속에서 사과원 지형적 차이 때문에 기주피해가 나타났다고 해석될 수 있다. 본 연구에서 두 사과원은 모두 50 m 이내에 주변 사과원들과 인접되어 있다. 일반적으로 대부분의 복숭아순나방의 성충 이동은 약 200 m 이상을 초과하지 않는 것으로 알려져 있으나 일부 개체들은 1 km 이상 비행한다고 한다(Rothschild and Vickers, 1991). 즉, 이러한 근접한 과원들의 배치에서는 상호 사과원들 사이의 복숭아순나방 집단의 이동이 가능할 것으로 유추된다. 두 사과원의 차이점은 청송 사과원의 경우 대단위 인접 사과원이 교미교란제를 처리된 반면에, 영주 사과원은 모두 무처리 사과원으로 둘러싸여 있었다. 즉, 한 농가에서 처리된 교미교란제의 효과는 인접한 사과원의 교미된 암컷의 이입에 따라 무력화될 수 있다는 점을 고려하여 보면 영주 사과원에서 나타난 신초 및 과실 피해는 청송 사과원에 비해 교미된 암컷의 이입이 자유로웠을 것이라고 이해된다. 실제로 교미교란의 효과가 거의 100%에 가까운 교미교란 처리지역에서 인접한 사과원으로부터 이입된 것으로 추정되는 교미된 암컷이 포획된 경우도 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 2007a).

이상의 결과는 국내 농가 현실에 비춰서 교미교란제를 처리하려면 교미교란 기술 자체 이외에 재배환경을 고려한 처리 방법을 개발해야 할 필요가 있다는 것을 제시하고 있다. 비교적 소규모 국내 사과원 지형을 고려하여 인접한 무처리 지역으로부터 교미한 암컷의 유입을 억제하기 위

한 방안으로 비교적 광범위한 지역을 대상으로 교미교란제가 처리되어야 한다. 즉, 어느 정도 범위가 광범위한 것인지는 성충의 교미통신이 이루어지는 최대한의 거리가 구명된 이후 범위는 결정되어질 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 광범위하게 교미교란제가 처리되기 어려운 경우에는 처리지역 가장자리에 집중적으로 교미교란제를 처리하는 기술을 검토해 볼 필요가 있다. 이는 바람의 방향에 따라 교미교란 효과가 낮아질 수 있는 사각지역을 줄여 줄 수 있으며, 인근의 암컷의 유입을 현격하게 줄일 수 있었다는 기존의 보고(Иlichev *et al.*, 2004)와 일치되는 개념일 수 있다. 또한 직접 교미한 암컷을 포획하는 트랩을 개발할 필요가 있다. 최근 국내에서 복숭아순나방의 먹이트랩에 테르피닐아세테이트 성분을 포함하면 암컷을 유인할 수 있다(Kim *et al.*, 2007a)는 결과처럼 인근 무처리지역과 인접한 부위에 먹이 트랩을 설치하여 교미한 암컷이 유입되는 것을 막는 방파제 역할을 함으로서 교미교란제 처리효과를 증진시킬 수 있을 것이다.

사 사

본 연구는 농림기술관리센터에서 지원한 2007년도 농산업기술개발사업으로 수행되었습니다. 본 연구의 인프라는 교육부의 2단계 BK21 사업에서 지원받았다.

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.
- Boo, K.S. 1998. Variation in sex pheromone composition of a few selected lepidopteran species. *J. Asia-Pacific Entomol.* 1: 17-23.
- Boo, K.S., Y. Kim, K.C. Park and M.Y. Choi. 2005. *Insect hormone and physiology.* 875 pp. Seoul National University Press, Seoul, Korea.
- Cardé, R.T. and A.K. Minks. 1995. Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints. *Annu. Rev. Entomol.* 40: 559-585.
- Cardé, A.M., T.C. Baker and R.T. Cardé. 1979. Identification of a four-component sex pheromone of the female oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Chem. Ecol.* 5: 423-427.
- Charlton, R.E. and R.T. Cardé. 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.
- George, J.A. 1965. Sex pheromone of the oriental fruit moth *Grapholita molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.* 97: 1002-1007.
- Hoskovec, M., O. Hovorka, B. Kalinová, B. Koutek, L. Streinz, A. Svatoš, P. Šebek, D. Šaman and J. Vrkoč. 1996. New mimics of the acetate function in pheromone-based attraction. *Bioorg. Med. Chem.* 4: 479-488.
- 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.
- Kanga, L.H.B., D.J. Pree, F.W. Plapp, Jr. and J.L. van Lier. 2001. Sex-linked altered acetylcholinesterase resistance to carbamate insecticides in adults of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera; Tortricidae). *Pestic. Biochem. Physiol.* 71: 29-39.
- 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.M. 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.
- Kim, Y., S. Bae, K.H. Choi, D.H. Lee and S.W. Lee. 2007a. Efficacy test of mating disruptors using food trap of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck). *Kor. J. Appl. Entomol.* 46: 269-274.
- Kim, Y., S. Jung, S. Bae, B. Kwon, H. Yoon and Y.P. Hong. 2007b. Factors influencing field monitoring of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, with sex pheromone. *Kor. J. Appl. Entomol.* 46: 349-356.
- 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.
- Rothschild, G.H.L. 1975. Control of oriental fruit moth (*Cydia molesta* (Busck) (Lepidoptera, Tortricidae)) with synthetic female pheromone. *Bull. Entomol. Res.* 65: 473-490.
- Rothschild, G.H.L. 1979. A comparison of methods of dispensing synthetic sex pheromone for the control of oriental fruit moth, *Cydia molesta* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae), in Australia. *Bull. Entomol. Res.* 69: 115-127.
- Rothschild, G.H.L. and R.A. Vickers. 1991. Biology, ecology and control of the oriental fruit moth. pp. 389-412. *In* World crop pests, Tortricid pests: their biology, natural enemies and control, Vol. 5. eds. by L.P.S. Van der Geest and H.H. Evenhuis. Elsevier, Amsterdam.
- SAS Institute, 1988. SAS/STAT user's guide, Release 6.03, Ed. Cary, N.C.
- Song, S., K. Choi, S. Lee and Y. Kim. 2007. DNA markers applicable for identification of two internal apple feeders, *Grapholita molesta* and *Carposina saskii*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 46: 175-182.
- Usmani, K.A. and P.W. Shearer. 2001. Topical pheromone trap assays for monitoring susceptibility of male oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) populations to azinphosmethyl in New Jersey. *J. Econ. Entomol.* 94: 233-239.
- 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 February 29 2008;
accepted March 18 2008)