

성페로몬과 RAPD 분자지표를 이용한 사과 재배지 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 발생 모니터링과 집단 이동 분석김용균* · 배성우¹ · 손예림 · 박정아안동대학교 생명자원과학부, ¹국립농업과학원 산업곤충과Analysis of Migration of the Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta*, in Apple-Cultivating Areas Based on Population Monitoring Using Sex Pheromone and RAPD Molecular MarkerKim, Yonggyun*, Sungwoo Bae¹, Yerim Son and Junga Park

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

¹Department of Industrial Entomology, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-440, Korea

ABSTRACT : Local and seasonal populations of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, were monitored with sex pheromone trapping and RAPD (random amplified polymorphic DNA) molecular marker to analyze their movement in apple orchards. To detect their movements among farms, pheromone traps were placed at regions between apple farms ('outside-farms') as well as within-farms ('inside-farms'). Four seasonal adult peaks were evident in apple-cultivating fields from April to October in both trappings of inside- or outside-farms. After overwintering generation, populations of inside-farms were significantly reduced with frequent insecticide applications, compared to populations of outside-farms. Within apple farms, *G. molesta* tended to be unevenly distributed because of significant sublocal preference. Active movements of local and seasonal populations of *G. molesta* were supported by gene flow analysis using RAPD marker. Monitoring data using sex pheromone and seasonal reduction in initial genetic differentiation detected in the overwintering populations suggest that there must be significant movement of *G. molesta* among different orchards in apple-cultivating areas.

KEY WORDS : *Grapholita molesta*, Sex pheromone, RAPD, Movement, Apple

초 록 : 사과원에 발생하는 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 지역 및 계절적 집단 변동 상황을 성페로몬 트랩과 RAPD (random amplified polymorphic DNA) 분자마커를 이용하여 분석하였다. 사과 재배지에서 과원들 간에 이 해충의 이동을 검출하기 위해 페로몬 트랩을 사과원 내부와 이들 사과원 사이 지역에 설치하였다. 사과원 안팎에서 조사된 성페로몬 모니터링 결과는 모두 복숭아순나방의 연중(4월~10월) 4회 성충 발생 피크를 나타냈다. 월동세대 이후 모니터링 결과를 살펴보면 사과원 외부에 비해 사과원 내부 성충 발생은 빈번한 살충제 처리에 따라 현격하게 줄었다. 사과원 내부에서 복숭아순나방은 국부적 선호성에 따른 불균등한 발생 분포를 나타냈다. RAPD 분자지표를 이용한 유전분석이 이러한 복숭아순나방의 지역 및 계절적 이동을 뒷받침하였다. 본 연구는 성페로몬을 이용한 인근 과수원 안팎의 모니터링 자료와 계절이 진행됨에 따라 집단간 유전적 분화가 감소하는 결과를 통해 사과재배지 과원들 사이에 복숭아순나방의 이동이 가능하다는 것을 제시하고 있다.

검색어 : 복숭아순나방, 성페로몬, 분자마커, 이동, 사과

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

국내 사과재배에 있어서 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 피해가 급격히 늘어가고 있다(Choi *et al.*, 2008). 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)과 더불어 과실에 직접 피해를 주는 복숭아순나방은 산란된 알에서 부화된 유충이 다시 과실 내부로 들어가기 때문에 일반 약제와의 접촉이 어려워 방제에 어려움을 주고 있다. 여기에 외국에서 보고된 이 해충의 약제 저항성 획득 능력(Prec *et al.*, 1998; Kanga *et al.*, 2001; Usmani and Shearer, 2001)은 다양한 살충제를 처리하는 국내 현실을 감안해 볼 때 방제에 또 하나의 어려운 인자로서 제기되고 있다.

효과적 복숭아순나방 방제의 대체 기술로서 성페로몬을 이용한 교미교란제 처리 기술이 외국의 사례에 비추어 국내에서도 고려되었다. 즉, 복숭아순나방의 세 가지 주요 성페로몬 성분이 밝혀지면서(George, 1965; Cardé *et al.*, 1979) 이 해충의 모니터링 뿐만 아니라 방제 기술의 하나로써 교미교란이 제안되었고, 이 방제 기술의 실효성이 현장 검증을 통해 입증되었다. 다량의 합성페로몬을 처리할 경우 암컷의 탐색 능력이 저하되어 차세대 형성을 위한 생식능력이 억제되고 이에 따른 방제 효과는 화학농약 처리와 견줄 수 있었다(Rothschild, 1975, 1979). 이러한 방제의 기술적 가능성은 Charlton and Cardé (1981)가 복숭아순나방 페로몬을 이용하여 교미교란의 효과를 보여준 것을 기반으로 하였다. 또한 여러 풍동 행동 반응 연구들은 교미교란제의 페로몬 성분 유출속도를 암컷이 분비하는 속도와 유사하게 맞춰주는 경우에 수컷의 암컷 탐색 능력을 현저히 저하시킬 수 있다고 보고하였다(Sanders and Lucuik, 1996; Valeur and Löfstedt, 1996). 상용 교미교란제는 국내 사과원에 서식하는 복숭아순나방에게 뚜렷한 교미 교란 효과를 나타냈다(Jung *et al.*, 2006, 2007). 국내에서는 수컷 유인력을 높이기 위해 복숭아순나방에 대한 초순수형 성페로몬 이성체가 합성되었으며 그 효과가 입증되었다(Kim *et al.*, 2006). 또한 교미교란제에 포함된 방출기의 성능을 제고하기 위해 왁스형의 교미교란 전용 방출기가 개발되었다(Jung *et al.*, 2008).

교미교란제 처리에 있어서 문제점은 복숭아순나방의 이동이다. 국내 농가 현실을 감안할 때 광범위한 교미교란제 처리가 어려워 처리지역과 비처리지역이 인접한 혼재 상황이 나타났고, 이에 따라 비처리지역에서 발생한 것으로 추정된 교미 암컷이 교미교란제 처리지역으로 유입되어 작물피해를 유발할 수 있다(Jung and Kim, 2008). 이러한 현실을 고려할 때 교미교란제의 처리 효과를 기대하기 위해서는 보다 광범위한 지역을 대상으로 교미교란제를 처리해야 하는 전략과 또 다른 방안으로 교미교란 처리지

역으로 이주해오는 교미 암컷을 차단하는 보호벽의 설치를 고려할 수 있다.

본 연구에서는 먼저 복숭아순나방의 집단간 개체 이동이 있는 지, 그리고 이러한 이동이 사과원 사이에서 어느 시기에 존재하였는지를 결정하기 위해 성페로몬을 이용하여 지역 및 계절적 개체 이동을 추적하였다. 또한 이러한 이동을 뒷받침하기 집단간 유전적 분화 추이를 RAPD 분자지표를 통해 분석하였다.

재료 및 방법

복숭아순나방 발생 지역별 모니터링

Park *et al.* (2008)의 방법에 따라 경북 안동지역에 위치한 사과원을 대상으로 거리별로 점진적으로 떨어져 있는 4개 지점을 택하였다. 다른 지역에 비해 산과 하천으로 격리되어 있는 AD1과 AD2를 선정하였고, 이들은 서로 약 100 m의 거리를 두었고, 이들 사이에 배추, 고추 및 일부 논이 자리하였다. 이들 사이에 복숭아순나방의 이동이 있는 지 파악하기 위해 배추밭 가운데 T1 트랩을 설치하였다. AD3는 이들 과원으로부터 산(해발 350 m)을 넘어 약 1 km 떨어져 위치하였으며, 주변에 도로와 하천으로 고립된 사과 재배지였다. AD1 또는 AD2로부터 AD3로 복숭아순나방의 이동이 있는 알아보기 위해 경계산을 전후로 각각 T2, T3 트랩을 배치하였다. AD4는 다시 AD3에서 약 10 km 떨어져 있으며 이들 사이에는 산(해발 450 m)과 하천(폭 150 m)이 존재하였다. 이들 사이에 복숭아순나방의 이동을 모니터링하기 위해 T4와 T5를 각각 산과 하천 경계에 두었다.

사과원들 사이에 복숭아순나방의 이동 가능성은 이 곤충이 사과원 내부에서도 이들의 활발한 이동도 가능할 것으로 추정하였다. 이는 사과원 내부에서는 어느 지점에서 유사한 모니터링 밀도를 나타내는 것으로 기대하였다. 이 가설을 서로 다른 조건에서 증명하기 위해서 Park *et al.* (2008)의 방법에 따라 사과원의 주변 환경이 서로 다른 두 장소를 대상으로 분석하였다. 한 곳은 인근 사과원과 접한 지역('AD1')이고, 다른 한 곳은 단독 사과원 지역('AD3')으로 각각 가장자리, 중간 및 내부로 나누어 4개씩의 모니터링 성페로몬 트랩을 설치하였다.

성페로몬 트랩은 텔타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)을 이용하였으며, 여기에 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH를 각각 95.0: 5.0: 1.0 (v/v)로 포함시켰다. 트랩 설치는

3월 말에, 모니터링은 4월 1일을 기점으로(이때까지 야외층의 포획이 없었음) 일주일 간격으로 조사하였다. 각 지역에는 2~3개의 모니터링 트랩을 설치하였다.

유전분석용 복숭아순나방과 개놈 DNA 추출

이상의 채집지역에서 수거된 수컷 가운데 최대 발생 피크를 보이는 시기인 4월 말, 7월 초, 8월 중순 및 9월 중순에 각각 포획된 개체를 이용하였다. 또한 안동에서 약 100 km 떨어져 있는 영천지역에서 같은 시기에 발생한 수컷을 포획하여 본 연구의 대조 시료로 이용하였다. 각 개체의 수컷 성충에서 날개를 제거하고 일반 개놈 DNA 분리 방식(Sambrook *et al.*, 1989)을 이용하여 DNA를 추출하였다. 추출된 DNA 시료는 proteinase A를 처리하고 이후 페놀 추출과 에탄올 침강을 이용하여 순수 DNA를 분리하였다. 분리된 DNA는 정량분석한 후 탈이온증류수를 이용하여 약 100 pg/ μ l로 희석하여 PCR에 이용하였다.

PCR-RAPD

(주)바이오니어(대전, 한국)로부터 RAPD용 프라이머(catalog # N-8061)를 구입하였다. 탈이온증류수를 이용하여 이 프라이머를 25 pmol/ μ l로 희석하였다. PCR은 iTaq((주)인트론, 서울, 한국) 중합효소와 이들 반응물을 이용하였다. 즉, PCR 전체 반응물(50 μ l)의 조성은 1 μ l의 DNA 시료(약 100 pg/ μ l), 5 μ l의 10x 반응완충용액, 4 μ l의 dNTP, 4 μ l의 RAPD 프라이머(20 pg/ μ l), 0.5 μ l Taq 중합효소 및 35.5 μ l의 탈이온증류수로 구성되었다. 준비된 반응물을 95°C에서 1분간 열처리한 후 35회의 증폭 주기로 PCR 기기(Multigene gradient, Labnet International, Inc., Edison, NJ, USA)를 이용하여 반응시켰다. 각 주기는 95°C에서 1분, 45.3°C에서 1분, 그리고 72°C에서 1분의 반응 단계로 구성되었다. RAPD 분석은 각 시기에서 각 지역 시료가 30개의 복숭아순나방으로 구성되게 반복하였다. RAPD 결과 얻어진 증폭물은 10개의 서로 다른 크기별로 구분되었다(Son and Kim, 2008). 각 RAPD 유전좌위에 따라 검출빈도는 분석된 총 유효시료수를 기준으로 검출 증폭물 시료수의 상대비로 산출하였다.

통계분석

복숭아순나방 출현에 대한 요인 검정은 SAS(SAS Institute,

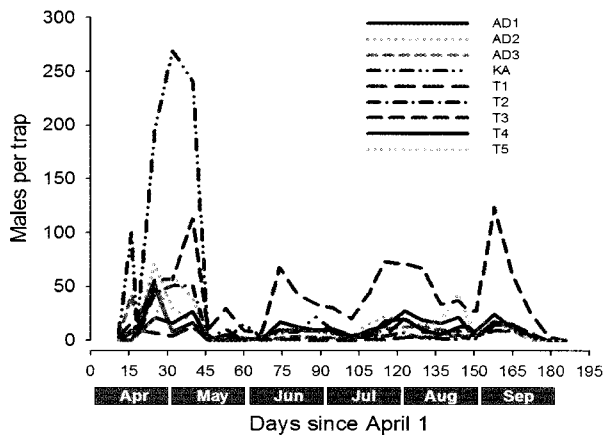
1989)의 PROC GLM을 이용하여 난괴법 요인실험으로 ANOVA 분석하였다. RAPD 유전좌위 10개를 대상으로 각 좌위별 시기 및 지역별 빈도로 산출하였다. 시기별 지역 집단간 군집분석은 SAS의 PROC CLUSTER를 이용하여 계보적 군집 형성방법을 통해 이뤄졌다.

결 과

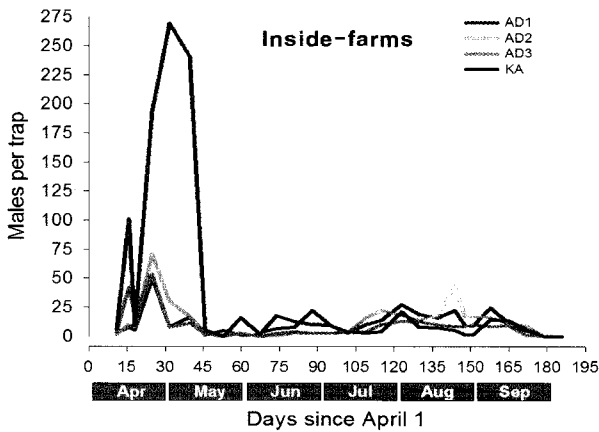
안동 지역에 위치한 4개 사과원을 대상으로 이 지역에 설치된 9개의 트랩을 이용하여 3월 말부터 10월 중순까지 매주 1회씩 포획된 복숭아순나방의 수컷 밀도를 모니터링하였다(Fig. 1A). 이 지역의 복숭아순나방 발생은 4월 초부터 10월 초까지 6개월에 걸쳐 나타났다. 유충으로 월동한 복숭아순나방은 4월 말에 높은 월동세대 성충피크를 보였으며, 이후 6~7월, 7~8월 및 9월에 각각 성충 발생 피크를 보여 전체적으로 4회의 성충 피크가 나타났다.

이러한 발생 피크를 사과원 내부에서 조사한 모니터링 자료와 사과원 밖 비사과재배지에서 조사한 자료를 통해 비교하였다(Figs. 1B, C). 사과 재배지 안에 설치된 성페로몬 트랩 결과는 높은 월동세대 피크가 나타나고, 5월 개화기 이후에는 낮은 성충 발생 피크를 보였다. 그러나 사과원들 사이 비사과재배지에 설치된 트랩에서는 월동세대 이후의 발생 피크들도 뚜렷하게 나오는 특징을 보였다. 이러한 복숭아순나방 발생 상황을 분석하여 보면, 시기적으로($F = 3.87$; $df = 27, 216$; $P < 0.0001$) 또한 지역적으로($F = 8.17$; $df = 7, 216$; $P < 0.0001$) 뚜렷한 발생량 차이를 보였다. 그러나 사과원 안팎에서 조사한 모니터링 자료를 비교하여 보면, 이들 사이의 모니터링 밀도 변화 차이가 없는 것으로 나타나($F = 0.97$; $df = 1, 216$; $P = 0.3259$) 사과원들 사이에 복숭아순나방의 이동이 가능할 것으로 제시되었다.

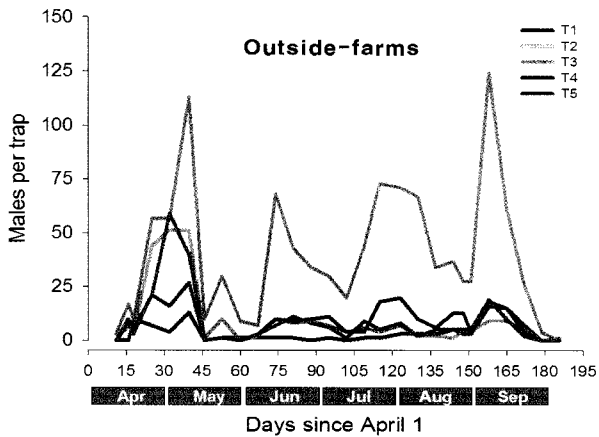
사과원 내부에서 복숭아순나방 이동 분석을 위해 두 개 과원에서 24개의 모니터링 트랩의 연중 포획 밀도 변화를 추적하였고, 모두 월동 세대 이후 3개의 성충 발생 피크를 나타냈다(Fig. 2). 그러나 24개 트랩에서 보여준 복숭아순나방 발생량은 사과원, 시기($F = 17.37$; $df = 23, 479$; $P < 0.0001$) 및 트랩 설치 위치($F = 34.77$; $df = 2, 479$; $P < 0.0001$)에 따라 뚜렷하게 차이가 났다. 특히 트랩의 위치에 따른 차이는 계절적 변동과 관련이 없었다($F = 1.26$; $df = 46, 479$; $P = 0.1274$). 즉, 사과원 내부의 특정 위치에 따라 복숭아순나방 발생 모니터링이 다르다는 것은 사과원 내부에서 세부지역별로 이 해충 서식 위치의 차등성이 있음을 내포하고 있다. 이러한 사과원 내부 선호



(A)

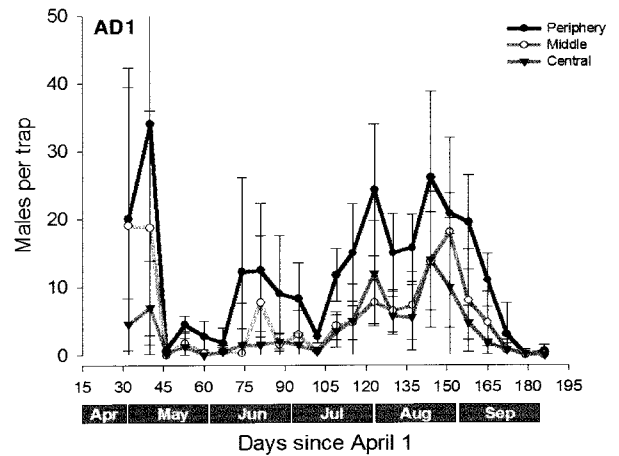


(B)

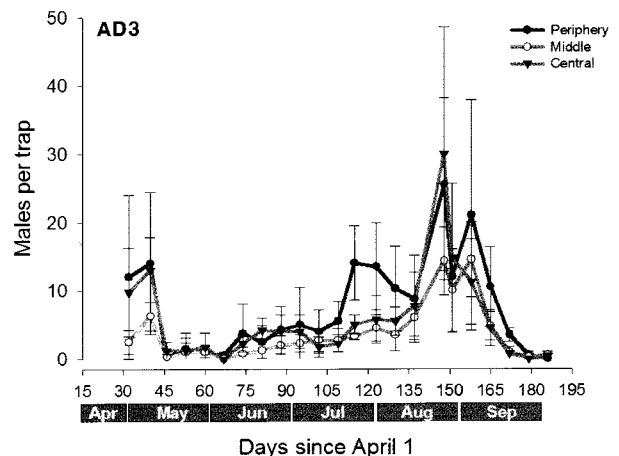


(C)

Fig. 1. A year-round monitoring of *Grapholita molesta* in and near Andong apple orchards using sex pheromone traps. The monitoring traps include five ‘outside-farms’ (‘T1’-‘T5’) installed respectively at regions between neighboring four orchards (‘inside-farms’: ‘AD1’, ‘AD2’, ‘AD3’, and ‘KA’), which is described in materials and methods and depicted in Park et al. (2008). (A) Adult phenology of *G. molesta* in 2008 monitored in both traps of inside-farms and outside-farms. (B) Trap data of inside-farms. (C) Trap data of outside-farms. Monitoring data of overwintering populations (Apr-May) used those of Park et al. (2008).



(A)

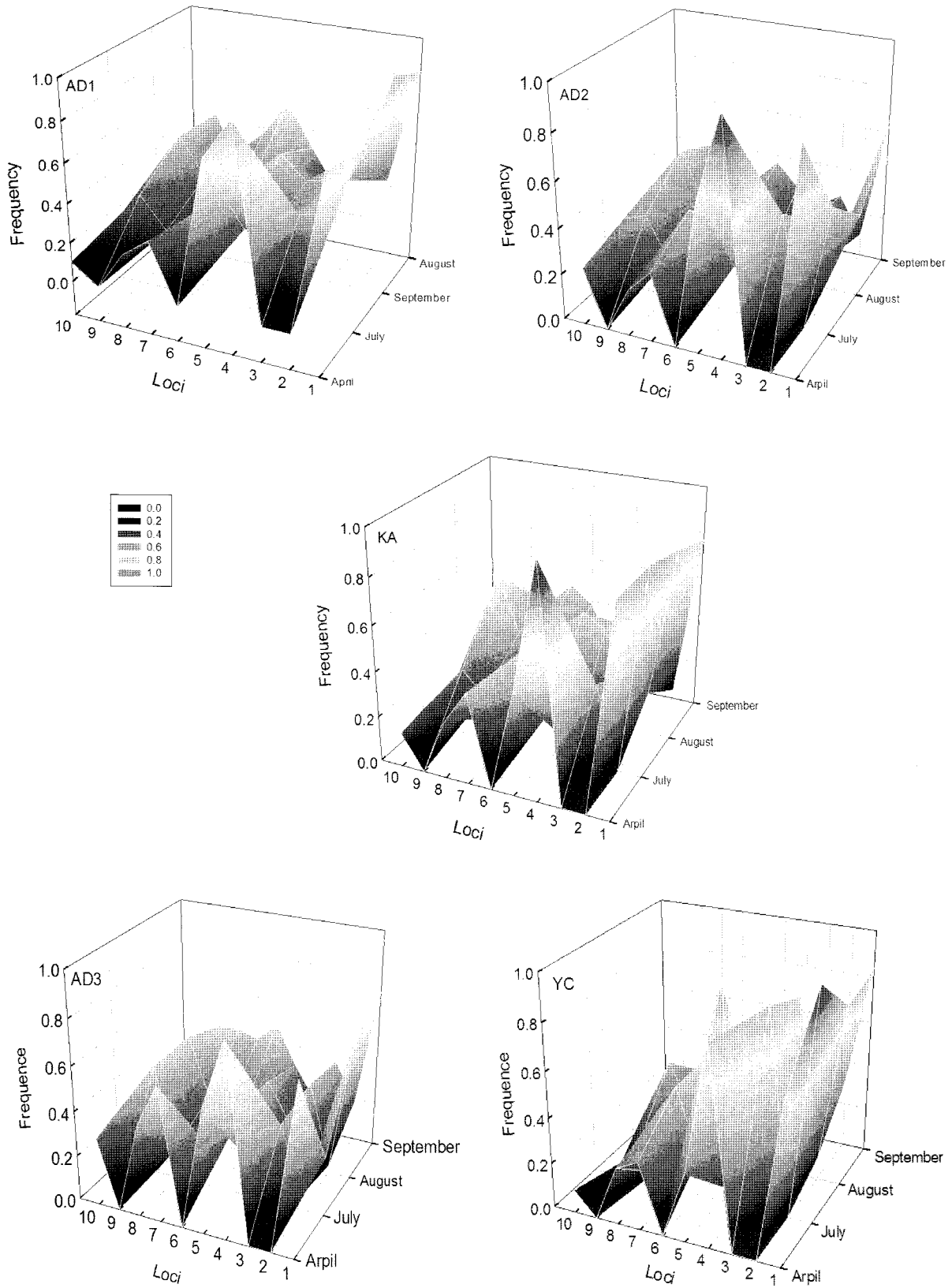


(B)

Fig. 2. Monitoring *Grapholita molesta* at different places of each apple orchard. Installation of 12 monitoring sex pheromone traps in each of AD1 and AD3 orchards is described in materials and methods and depicted in Park et al. (2008). AD1 orchard is close to neighboring orchard, while AD3 is isolated from other orchards. Main wind direction (arrows) is denoted in each orchard. Trap catches of 12 monitoring traps in each of AD1 (A) and AD3 (B) orchards from May 1 to October 3. Data of Apr-May used those reported in Park et al. (2008). Error bars indicate standard deviation of four replications. Twelve traps are divided into three subgroups for analysis depending on trap locations at periphery, middle, and center of orchards.

성은 사과원의 주변 환경에 따라 차이를 보여, 주변 사과원이 있는 AD1의 경우 이 해충은 가장자리에 더 많이 발생하는 경향을 보인 반면(Fig. 2A), 단독 사과원인 AD3의 경우 가장자리 뿐만 아니라 계절이 진행함에 따라 중앙으로 이동하는 경향을 보였다(Fig. 2B).

이상의 성페로몬 트랩을 통해 추정된 복숭아순나방 이동을 뒷받침하기 위해 사과원 집단간 유전적 분석이 이뤄



(A)

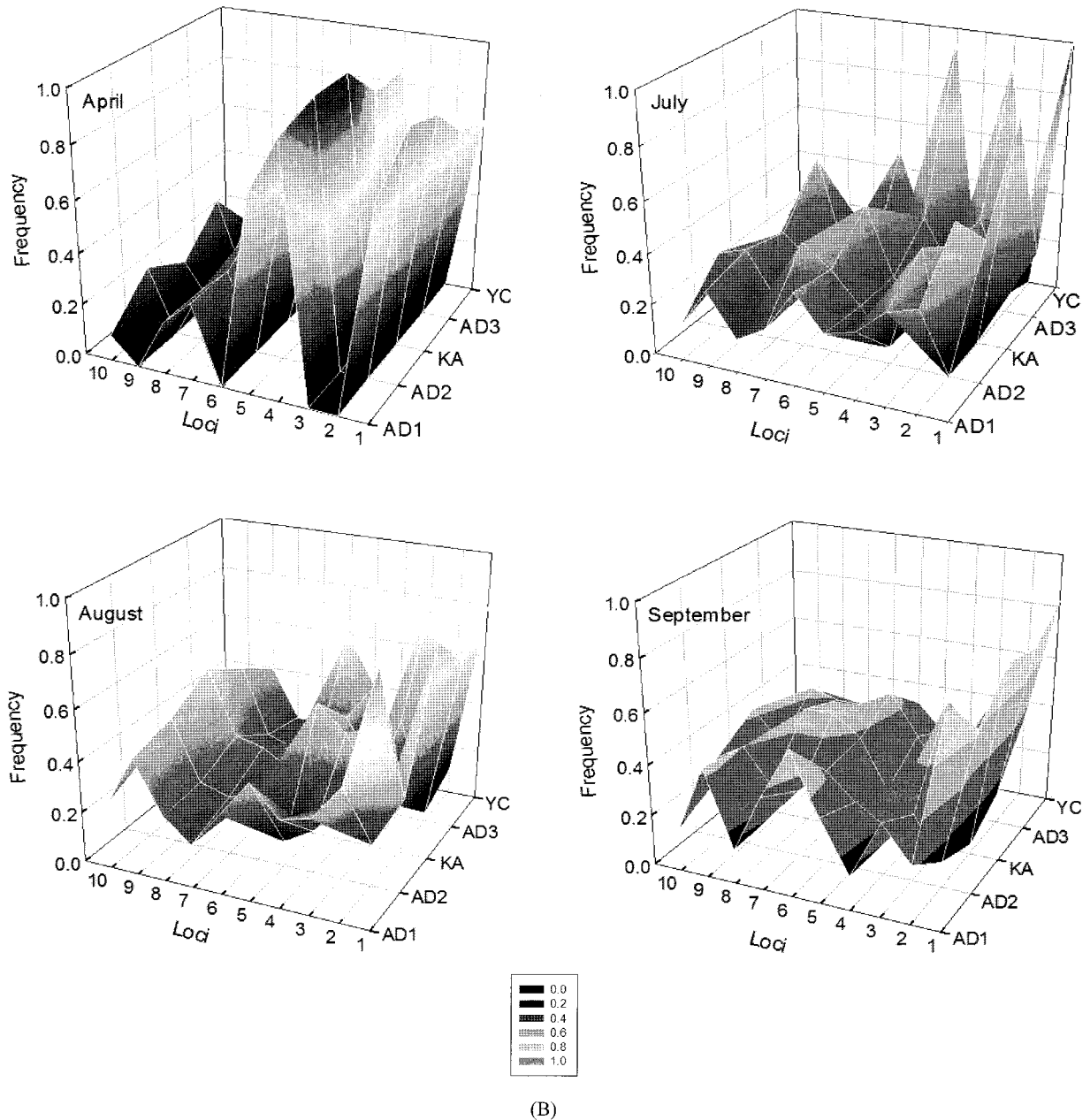


Fig. 3. Genetic differentiation of local (A) and seasonal (B) populations of *Grapholita molesta* analyzed by PCR-RAPD. Males were collected at four periods (April, July, August, and September) using sex pheromone traps installed in five different localities of AD1, AD2, AD3, KA, and YC (see materials and methods). RAPD frequencies of each local and time population ($n > 30$) were estimated at 10 polymorphic loci by the method of Son and Kim (2008).

졌다(Fig. 3). 전체적으로 각 RAPD 다형좌위의 빈도는 시기 및 지역적으로 일정하지 않았다. 지역별 경향을 살펴보면 영천을 제외한 모든 지역에서 4월 이후 유전좌위 빈도 변화가 시기적으로 유사하여지는 경향을 나타냈다(Fig. 3A). 이러한 경향은 각 시기별 지역간 변이를 살펴보면

더욱 뚜렷하게 알 수 있다(Fig. 3B). 즉, 모든 지역에서 서로 다른 시기에 따라 집단내 유전적 조성에서 변동이 일어났으며, 이러한 변화는 초기부터 일어나 7월 이후에는 초기의 집단간 차이가 변형되는 것이 군집분석을 통해 알 수 있다(Fig. 4).

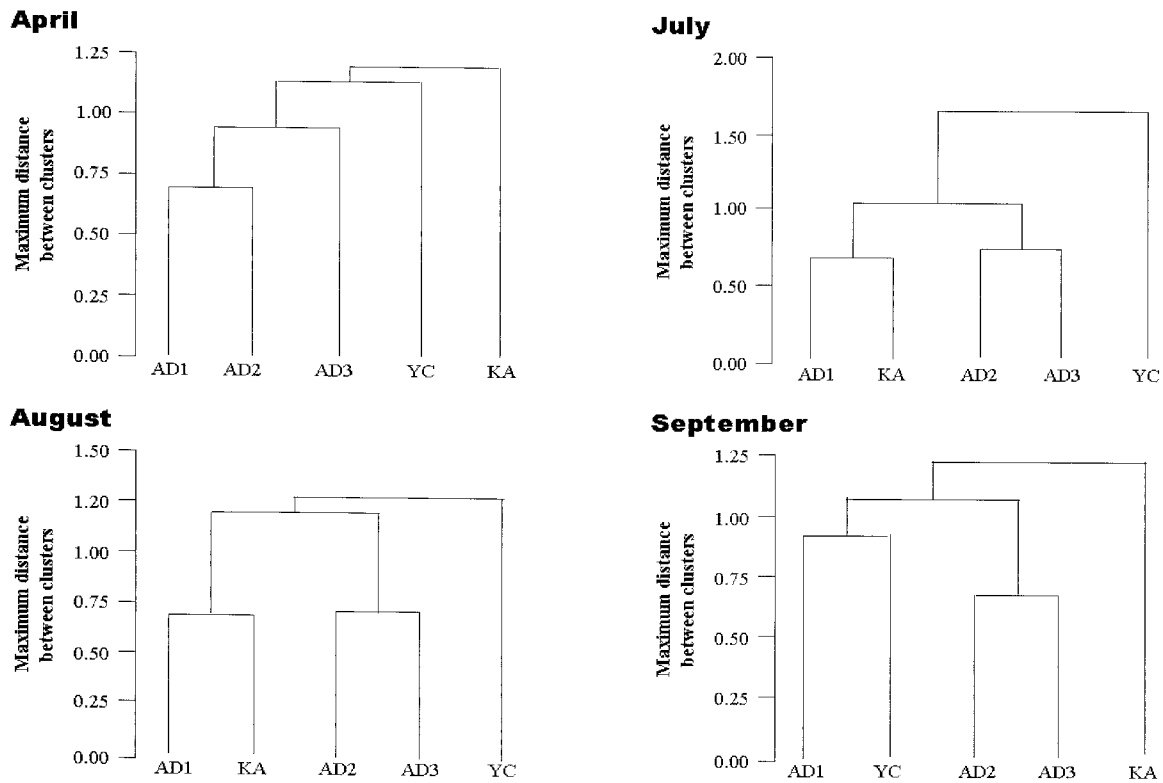


Fig. 4. Clustering analysis of three Andong local ('AD1', 'AD2', and 'AD3'), Kilan ('KA'), and Youngchon ('YC') populations of *Grapholita molesta* in different seasons in terms of gene frequencies using N-8061 (Bioneer) PCR-RAPD marker.

고찰

복숭아순나방에 대한 성페로몬 교미교란제 처리기술이 가능하다는 것이 여러 야외 적용 연구를 통해 보고되고 있다. 튜브형태의 방출기형태인 Isomate-M 100 교미교란제 처리는 수컷 오류 비행을 유도하였으며 화학농약 처리와 유사하게 복숭아순나방에 대해 높은 방제 효과를 보여 주었다(Kovanci *et al.*, 2005). 국내에서는 복숭아순나방의 월동세대에 대해서 두 가지 형태의 상용 교미교란제를 처리하여 과실 피해를 줄였다(Jung *et al.*, 2006). 국내 복숭아순나방의 성페로몬 조성은 세 가지 성분(*cis*-8-dodecenyl acetate (Z12Ac), *trans*-8-dodecenyl acetate (E12Ac), *cis*-8-dodecenol (Z12OH))이 각각 95:5:1로서 밝혀졌지만(Boo, 1998), 널리 사용되고 있는 Isomate 제품은 88.5:5.7:1로 조제되어 유인력에서 낮은 효율을 보인다는 점이 지적되어 *cis* 형태의 이성체를 합성하는 기술이 개발되었고, 이를 이용하여 유인력 제고를 꾀할 수 있었다(Kim *et al.*, 2006). 따라서 국내 복숭아순나방 성페로몬 조성과의 유사하게 조

제되어 상용화되고 있는 Splat™ 제품을 효과적 교미교란제로 추천하게 되었다(Jung *et al.*, 2007). 그러나 국내 현실에서 교미교란제의 처리는 소규모이기 때문에 인근의 미처리 지역에서 이주하여 오는 교미 암컷의 유입으로 방제의 효과를 크게 낮출 수 있는 어려움이 있다(Jung and Kim, 2008). 이를 보완하기 위해 처리 과수원 주변에 보호벽을 세우는 전략이 세워졌다. 호주의 배 과수원에서 실시된 변두리 교미교란제 처리는 이러한 보호벽 개념으로서 과수원으로부터 45~50 m 떨어진 가장자리에 다시 교미교란제를 처리하여 좁은 과수원 테두리에 주로 피해가 집중하였던 것을 막을 수 있어 교미교란제 효율을 높이게 되었다(Илчев *et al.*, 2004). 국내에서는 복숭아순나방의 먹이트랩을 이용하여 이러한 보호 및 차단벽을 설치하여, 인근지역에서 교미된 암컷이 처리 과수원으로 이입되는 것을 막을 수 있다고 제시하였다(Kim *et al.*, 2007). 그러나 아직 정확히 복숭아순나방의 이동 현황을 파악하지 못한 상황이라 교미교란제의 처리 범위 및 먹이트랩의 설치 효율성을 판정하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 복숭아순나방의 이동 현황을 서로 다른 인근 과수원 및 이들 사이에 설치된 성페로몬 트랩의 주기적 모니터링으로 추적하였다. 흥미롭게도 사과원과 멀리 떨어져 있는 성페로몬 트랩에서도 많은 복숭아순나방을 포획할 수 있었고, 이들의 증감이 사과원 내부에서 나타나는 밀도변동과 유사하였다. 즉, 사과원에서 발생한 복숭아순나방이 주변으로 이동했을 가능성을 보여준 자료이다. 복숭아순나방의 비교적 넓은 기주 범위(Ahn *et al.*, 1985)를 고려하여 볼 때 이들 비사과재배지에서 포획된 복숭아순나방이 사과원에서 온 것인지 아니면 주변 기주에서 발생한 것인지는 본 연구 결과만으로 판정할 수는 없다. 그러나 RAPD 분자지표를 이용한 사과원들 사이의 복숭아순나방 유전적 조성 변화를 고려하여 볼 때 이들 사과원 밖의 복숭아순나방은 인근 사과원 집단에서 유래된 것으로 유추된다.

PCR-RAPD는 임의의 프라이머(10개 뉴클레오타이드 서열)를 기반으로 일정 DNA 결합 온도에서 나타나는 개체별 DNA 중합반응 결과물의 다형현상을 기초로 한다(Williams *et al.*, 1990). 특별히 대상 생명체의 염기서열을 알지 못하는 상태에서 임의 프라이머를 이용하여 유전적 분석이 가능하게 하는 것이 RAPD 기술의 장점이다(Haymer, 1994). 본 기술은 여러 임의 프라이머를 기초하여 미리 선발되었다(Son and Kim, 2008). 이 가운데 N-8061 프라이머가 재현성이 높은 다형좌위를 나타내기 때문에 선발되었으며, 이를 이용하여 복숭아순나방의 월동 전후 세대의 유전적 조성을 비교할 수 있었다(Park *et al.*, 2008). 월동이라는 유전적 병목지대는 복숭아순나방의 지역간 분화를 일으킬 수 있다. 본 연구에서는 4월 월동세대에서 분석된 집단이 지역간 유전적 조성에서 뚜렷한 차이가 있음을 나타냈다. 그러나 성페로몬 자료에서 보듯 복숭아순나방의 이동성은 초봄부터 진행되어 7월 이후 집단은 이러한 지역간 분화가 감소한다는 것이 본 RAPD 분자지표에 의한 분석 결론이다. 물론 여기에는 또 다른 유전적 구성에 변동을 주된 요인이 있다. 돌연변이 또는 소집단의 유전적부동으로 일정 방향성 없이 대상 집단의 유전적 조성을 변동시키는 것을 고려할 수 있다(Hartl and Clark, 1988). 보다 직접적 유전적 조성 변동 요인으로 작용하였을 것으로 추정되는 것이 선발로서 이에 관련된 유전적 선발 행위가 화학농약 살포였을 것으로 이는 본 연구에서 조사된 사과원 안팎의 뚜렷한 모니터링 밀도 차이에서 알 수 있다. 이러한 농약 선발 요인은 일반적으로 방향성을 지닌 유전적 변동 요인으로(Falconer, 1981) 과수원 별로 처리 시기 및 방법이 달라 다시 유전적

분화를 일으키는 것으로 추정될 수 있다. 사과원에서 약제 살포가 비교적 활발히 이뤄지는 개화기 이후 즉 5~6월에 이러한 유전적 선발 효과가 사과원 복숭아순나방 집단에 진행되었을 것이고, 이는 7월 집단에서 보듯 집단간 분화를 지속시켜주는 요인으로 작용했을 것이라 여겨진다. 그러나 지속적 복숭아순나방의 이동은 격리되었던 집단들을 융합시켜줌으로 소집단 내에서 일어나는 유전적부동에 의한 유전적 분화를 막아주게 된다(Lynch and Gabriel, 1990).

본 연구는 또한 사과원 내부에서는 복숭아순나방이 불균등 분포를 보이고 있다는 것을 제시하고 있다. 이들의 사과원 내 분포는 가장자리 또는 인근 과수원에 접한 영역을 선호하고 있다는 것이다. 그러나 고립된 사과원에서는 시기가 진행됨에 따라 사과원 중앙으로 이동하는 것을 볼 수 있어 일단 선호성으로 사과원 내부에 정착된 복숭아순나방은 비교적 이동력이 둔화된다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 사과원 내부에 교미교란제를 처리할 때 가장자리에 비교적 밀집해서 처리하는 것이 효과적이라는 연구결과(Knight, 2004)를 뒷받침하여주는 자료이다.

이상의 결과는 국내 사과원에 발생하는 복숭아순나방의 이동 가능성을 성페로몬 모니터링 자료와 RAPD 분자지표 자료를 통해 제시하고 있다. 효과적 교미교란제 처리 효과를 기대하기 위해서는 사과원 뿐만 아니라 인근 지역까지 보다 광범위한 지역에서 실시되어야 한다고 본 연구는 제시한다. 그러나 본 연구만으로는 이들 복숭아순나방의 이동 거리가 어느 정도이며 이에 따라 어느 정도의 광범위 영역에서 교미교란제를 처리해야 하는 지는 제시하여주지 못했다. 이를 결정하기 위해서는 추후 보다 넓은 지역을 대상으로 본 연구가 진행될 필요가 있다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 지원 2008년도 FTA 대응기술개발사업으로 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.
 Boo, K.S. 1998. Variation in sex pheromone composition of a few selected lepidopteran species. J. Asia-Pacific Entomol. 1: 17-23.
 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.
- Choi, K.H., S.W. Lee, D.H. Lee, D.A. Kim and S.K. Kim. 2008. Recent occurrence status of two major fruit moths, oriental fruit moth and peach moth in apple orchards. *Kor. J. Appl. Entomol.* 47: 17-22.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2nd. Ed. Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons, New York.
- George, J.A. 1965. Sex pheromone of the oriental fruit moth *Grapholita molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.* 97: 1002-1007.
- Hartl, D.L. and A.G. Clark. 1988. Principles of population genetics. 2nd ed. Sinauer, Sunderland, MA.
- Haymer, D.S. 1994. Random amplified polymorphic DNAs and microsatellites: what are they, and can they tell us anything we don't already know? *Ann. Entomol. Soc. Am.* 87: 717-722.
- 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.
- Jung, S. and Y. Kim. 2008. 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. *Kor. J. Appl. Entomol.* 47: 51-57.
- Jung, S., M. Park, S. Lee, K. Choi, Y. Hong, S. Bae and Y. Kim. 2008. Development of wax-typed pheromone dispenser for mating disruption of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, and its application technique. *Kor. J. Appl. Entomol.* 47: 255-263.
- 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.
- Jung, S., C. Park, M. Park and Y. Kim. 2007. Field assessment of two commercial sex pheromone mating disruptors on male orientation of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck). *Kor. J. Pestic. Sci.* 11: 46-51.
- 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, 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. 2007. Efficacy test of mating disruptors using food trap of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck). *Kor. J. Appl. Entomol.* 46: 269-274.
- Knight, A.L. and T.E. Earsen. 2004. Improved deposition and performance of a microencapsulated sex pheromone formulation for codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) with a low volume application. *J. Entomol. Soc. Br. Columbia* 101: 79-86.
- 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.
- Lynch, M. and W. Garbriel. 1990. Mutation load and the survival of small populations. *Evolution* 44: 1725-1737.
- Park, J., Y. Son, S. Bae and Y. Kim. 2008. Genetic differentiation of overwintering populations of oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, and their movement. *Kor. J. Appl. Entomol.* 47: 201-208.
- 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.
- Sambrook, J.E., F. Fritsch and T. Maniatis. 1989. Molecular cloning. A laboratory manual, 2nd ed. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY.
- 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.
- SAS Institute, 1989. SAS/STAT user's guide, Release 6.03, Ed. Cary, N.C.
- Son, Y. and Y. Kim. 2008. Gene flow of oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, populations analyzed by RAPD molecular markers. *Kor. J. Appl. Entomol.* 47: 37-44.
- 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.
- Valeur, P.G. and C. Löfstedt. 1996. Behaviour of male oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, in overlapping sex pheromone plumes in a wind tunnel. *Entomol. Exp. Appl.* 79: 51-59.
- Wahlund, S. 1928. Zusammensetzung von Populationen und Korrelationserscheinungen von standpunkt der vererbungslehre aus betrachtet. *Hereditas* 11: 65-106.
- Williams, J.G.K., A.R. Kubelik, K.J. Livak, J.A. Rafalski and S.V. Tingey. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Res.* 18: 6531-6535.

(Received for publication February 11 2009;
revised March 19 2009; accepted March 20 2009)