

월동세대 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 지역적 분화 및 이동

박정아 · 손예림 · 배성우 · 김용균\*

안동대학교 생명자원과학부

Genetic Differentiation of Overwintering Populations of Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta*, and Their Movement

Junga Park, Yerim Son, Sungwoo Bae and Yonggyun Kim\*

School of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea

**ABSTRACT** : Spring phenology of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, was monitored using sex pheromone traps in apple cultivating areas. Their occurrence was earlier in southern areas and their population sizes were significantly different among orchards even in a local cultivating zone. The overwintering populations appeared to move between local orchards, based on the fact that monitoring data obtained at the sites between orchards were similar to those of nearby orchards. However, within orchards, these adult movements appeared to decrease and showed skewed occurrences at the side of upwind direction or close to neighboring orchards. At initial occurrence peak (April 20-25), the overwintering populations of the different localities were collected and analyzed in their genetic distances. PCR-RAPD analysis indicated that there were significant genetic differences among the overwintering populations of *G. molesta*. This genetic differentiation of overwintering populations may be due to genetic bottleneck following differential selection pressures against the subpopulations of *G. molesta* during winter on the basis of the RAPD analysis that each early spring population was significantly different to its previous fall population in the same locality.

**KEY WORDS** : *Grapholita molesta*, genetic bottleneck, movement, overwintering, pheromone

**초 록** : 성페로몬 트랩을 이용하여 사과재배지를 중심으로 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 월동집단의 발생패턴을 조사하였다. 복숭아순나방의 발생은 남부지역에서 더 일찍 시작되었지만, 발생밀도는 비슷한 지역이라도 사과원에 따라 상이하게 나타났다. 월동집단의 성충은 사과원 내부에서 모니터링한 자료와 이웃하는 사과원 사이 지점에서 포획된 밀도 변화가 서로 유사하여 이들의 사과원 사이 이동이 가능한 것으로 추정되었다. 그러나 사과원 내부에서 서로 다른 지점에서 모니터링한 자료는 바람이 불어오는 가장자리 지점이나 이웃하는 사과원과 가까이 위치한 트랩에서 높은 포획 밀도를 보여, 이들의 이동이 사과원 안에서는 둔화될 수 있다고 추정된다. 월동세대가 나타나는 비교적 초기(4월 20-25일)에 서로 다른 사과원에 발생하는 월동세대의 유전적 거리를 분석하였다. PCR-RAPD법으로 분석한 결과, 이들 집단들 사이에 유전적 분화가 있음을 나타냈다. 더욱이 동일한 지역에서 전년도 가을 집단과 초봄의 월동집단 사이에 유전적 차이가 뚜렷하게 나타나서, 이러한 월동세대 집단간 차이는 겨울 기간동안의 지역간 상이하게 나타날 수 있는 도태압에 따른 유전적 병목현상에 기인된 것으로 제시된다.

**검색어** : 복숭아순나방, 유전적 병목현상, 이동, 월동, 페로몬

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

복숭아순나방(*Grapholita molesta*)은 사과, 복숭아, 배, 자두 등 핵과류의 과실을 가해하는 일차해충으로, 국내는 물론이고 여러 다른 나라에서 심각한 경제적 손실을 주고 있다(Ahn *et al.*, 1985; Song *et al.*, 2007). 이 해충을 방제하기 위한 화학적 방제기술은 이들 유충의 과실 속 가해 습성에 따라 약제 노출이 어려워 기대 이하의 낮은 방제 효율과 이에 따른 살포 약량 증가로 약제 저항성 발현이라는 문제점을 낳게 했다(Pree *et al.*, 1998; Kanga *et al.*, 2001; Usmani and Shearer, 2001). 이에 따라 약제 방제의 대안으로 이 해충의 성충을 대상으로 교미교란용 성페로몬을 이용한 방제 기술이 소개되었고, 일부 사과원에서 실효성이 입증되었다(II'ichev *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2003; Kovanci *et al.*, 2005; Jung *et al.*, 2006).

교미교란제 처리 기술은 대상 성충집단의 교미영역에서 암컷에 대한 수컷의 올바른 접근이 저해되어야 효율성을 거둘 수 있다(Jung *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2007). 자칫 교미교란의 사각지대 또는 비처리 지역에서 교미된 암컷의 이입은 교미교란 효과를 낮추는 주된 요인이 될 수 있다(II'ichev *et al.*, 2004; Jung and Kim, 2008). 즉, 화학농약 처리 기술과 다르게 교미교란 처리는 소규모 사과 재배지 경우 인접한 사과원까지 동시에 공동 방제해야 한다. 그렇다고 무작정 대단위 지역을 대상으로 교미교란제를 처리하는 것은 막대한 방제비용 및 노동력 손실로 방제의 실효성을 기대할 수 없다. 이에 따라 복숭아순나방의 이동 능력을 바탕으로 한 특정 지역 복숭아순나방 집단의 유효 교미영역이 결정될 필요가 있다. 이를 위해 특정 소규모 집단을 구분할 수 있는 표식인자가 필요하였고, 이에 따라 RAPD (random amplified polymorphic DNA bands) 분자지표를 개발하였다(Son and Kim, 2008). 개발된 RAPD 분자지표는 집단간 다형좌위 빈도수의 차이를 보였고, 이를 통해 사과원에 발생하는 복숭아순나방 지역적 변이 및 이들의 연간 변동을 분석하였다(Son and Kim, 2008).

본 연구는 사과원에 발생하는 복숭아순나방의 유효 교미반경을 지역적으로 구분하기 위한 궁극적 목표 아래 초기 연구 단계로서 지역 집단 분화의 시발점을 찾으려 하였다. 이를 위해 먼저 경북 지역의 주요 사과재배지를 중심으로 지역별 월동세대의 발생시기 및 밀도의 차이를 분석하였다. 또한 이들 월동세대의 이동 가능성을 파악하기 위해 모니터링 대상 사과원들 사이에서 발생하는 밀도 변화를 추적하였고 아울러 사과원 내에서 이들의 이동을 파악하기 위해 내부 위치에 따라 모니터링되는 밀도의 변화를 시기적으로 추적하였다. 끝으로 분자지표를 이용하여 지역간 발생하는 월동세대의 유전적 차이점을 분석하였으며, 이러한 차이를 설명하기 위해 각 지역에서 전년

도 월동에 들어갈 가을 집단과 월동 후 이듬해 봄 집단 사이에 유전적 차이를 추적하였다.

## 재료 및 방법

### 월동세대 발생 지역별 모니터링

경북 지역 주요 사과 재배지를 중심으로 남부지역의 경산과 영천 그리고 북부지역의 안동을 대상으로 월동한 후 나타나는 월동세대의 발생을 성페로몬 트랩으로 모니터링하였다. 경산은 한 곳, 영천은 세 곳(임고, 신녕, 화산) 그리고 안동은 네 곳(기느리A, 기느리B, 송천, 길안: Fig. 2A 참조)으로 선정하였다. 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. 트랩은 3월말에 설치하여 유인나방수를 모니터링하기 시작하였고, 4월 1일을 기점으로(이때까지 야외충의 포획이 없었음) 일주일 간격으로 조사하였다.

### 유전분석용 복숭아순나방

채집지역은 모니터링 지역 가운데 지역적 차이를 둔 5개 지역을 설정하였다. 즉, 주변 산악지형으로 고립된 분지형의 안동 지역에서 기느리A 지역('AD1')과 기느리B 지역('AD2')의 사과원을 선정하였다(Fig. 2A 참조). 이들 두 사과원 사이는 약 100 m 직선거리를 두고 떨어져 있었다. 이로 부터 고도 약 400 m의 산을 넘어 약 1 Km의 직선거리를 둔 송천 지역('AD3') 사과원을 선정하였다. 다시 AD3에서 약 10 Km 떨어져서 길안 지역에 'KA' 사과원을 선정하였다. 원거리 대조지역으로서 KA에서 다시 약 100 Km 떨어져있는 영천지역의 'YC' 사과원을 선정하였다. 월동세대 유전적 분화를 보기 위해 전년도 가을 집단(2007년 9월)과 이듬해 봄 집단(2008년 4월)을 분석하였다.

### 복숭아순나방 게놈 DNA 추출

각 개체의 수컷 성충 날개를 제거하고 일반 게놈 DNA 분리 방식(Sambrook *et al.*, 1989)을 이용하여 DNA를 추출하였다. 추출된 DNA 시료에 proteinase A를 처리하고 이후 페놀 추출과 에탄올 침강을 이용하여 순수 DNA를 분리하였다. 분리된 DNA는 정량분석한 후 탈이온증류수를 이용하여 약 100 pg/ml로 희석하여 PCR에 이용하였다.

### PCR-RAPD

(주) 바이오니어(대전, 한국)로부터 RAPD용 프라이머 (catalog # N-8061)를 구입하였다. 탈이온증류수를 이용하여 이 프라이머를 25 pmol/ml로 희석하였다. PCR은 iTaq ((주)인트론, 서울, 한국) 중합효소와 이들 반응물을 이용하였다. 즉, PCR 전체 반응물(50 ml)의 조성은 1 ml의 DNA 시료(약 100 pg/ml), 5 ml의 10x 반응완충용액, 4 ml의 dNTP, 4 ml의 RAPD 프라이머(20 pg/ml), 0.5 ml Taq 중합효소 및 35.5 ml의 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 시점에서 각 지역 시료가 30개의 복숭아순나방으로 구성되게 반복하였다. RAPD 결과 얻어진 증폭물은 10개의 서로 다른 크기별로 구분되었다. 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 요인 실험으로 ANOVA 분석하였다. 유전좌위 빈도분석은 각 시기별 및 지역별로  $\chi^2$  검정법으로 PROC FREQ를 이용하여 분석하였다. 월동집단의 지역별 군집분석은 SAS의 PROC CLUSTER를 이용하여 계보적 군집 형성방법을 통해 이뤄졌다.

## 결 과

### 지역별 복숭아순나방 월동세대 발생 밀도

복숭아순나방 월동세대 출현은 4월 초부터 시작하여 5월 말까지 진행되었다(Fig. 1). 그러나 이들의 발생 양상은 지역별로 상이하게 나타났다( $F = 27.90$ ;  $df = 7, 32$ ;  $P < 0.0001$ ). 남부지역인 경산과 영천은 4월 중하순이 최대 발생기인 반면, 안동은 4월 하순에서 5월 초에 걸쳐 최대 발생을 보였다. 각 지역 내에서도 사과원에 따라 발생 밀도가 상이하게 나타나서 영천의 경우 임고 지역이 신녕 지역이나 화산 지역에 비해 월등히 발생 밀도가 높았으며

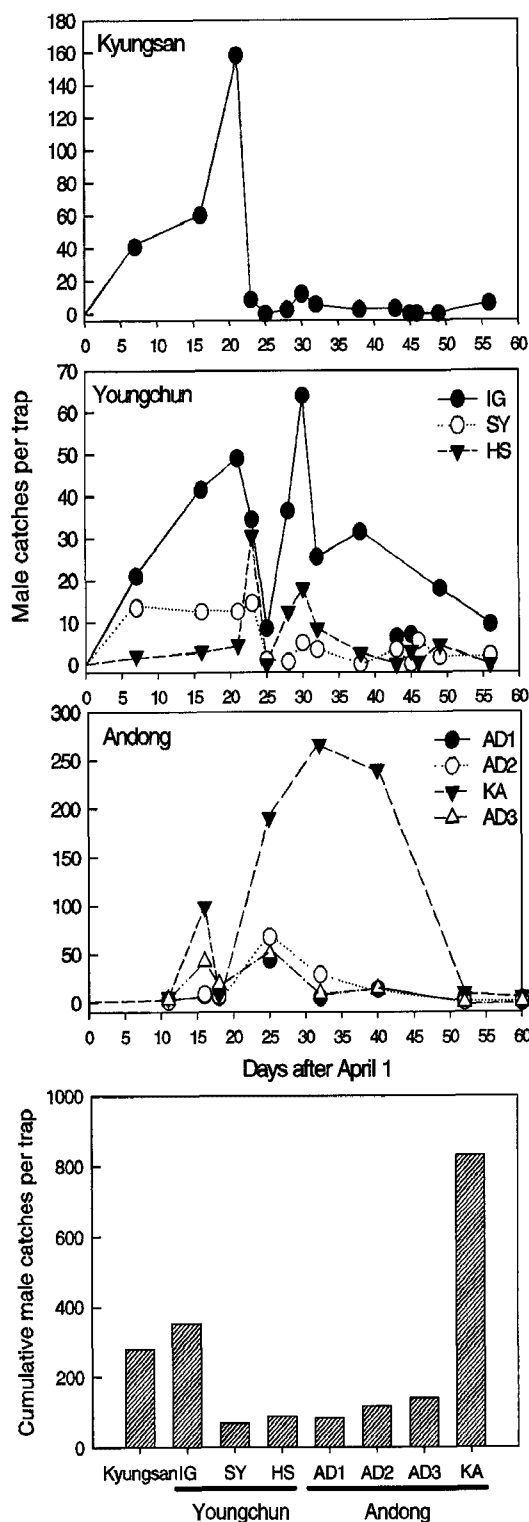


Fig. 1. Monitoring overwintering populations of *Grapholita molesta* using sex pheromone traps installed at eight apple orchards in three different regions. Each orchard had two traps. The monitoring data presented in this figure represent their sum in each monitoring date. Cumulative male catches represent total numbers of trap catches from April 1 to May 30. Three orchards in Youngchun include Imgo ('IG'), Shinyoung ('SY'), and Hwasan ('HS'). Four orchards in Andong include Kinuri A ('AD1'), Kinuri B ('AD2'), Songchun ('AD3'), and Kilan ('KA').

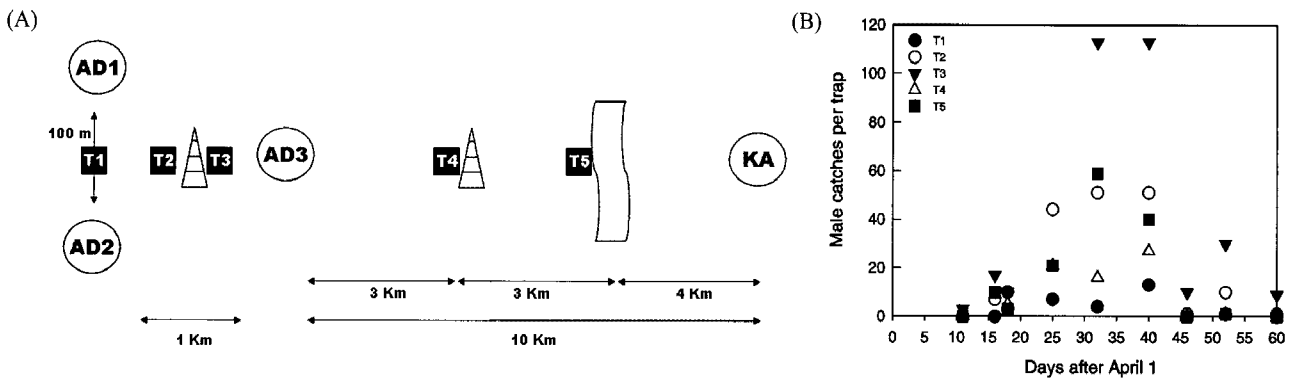
( $F = 16.44$ ;  $df = 2, 12$ ;  $P = 0.0004$ ), 안동에서도 길안 지역 사과원이 다른 장소의 사과원에 비해 현격하게 밀도가 높았다( $F = 77.06$ ;  $df = 3, 16$ ;  $P < 0.0001$ ).

**월동세대 복숭아순나방 이동 분석**

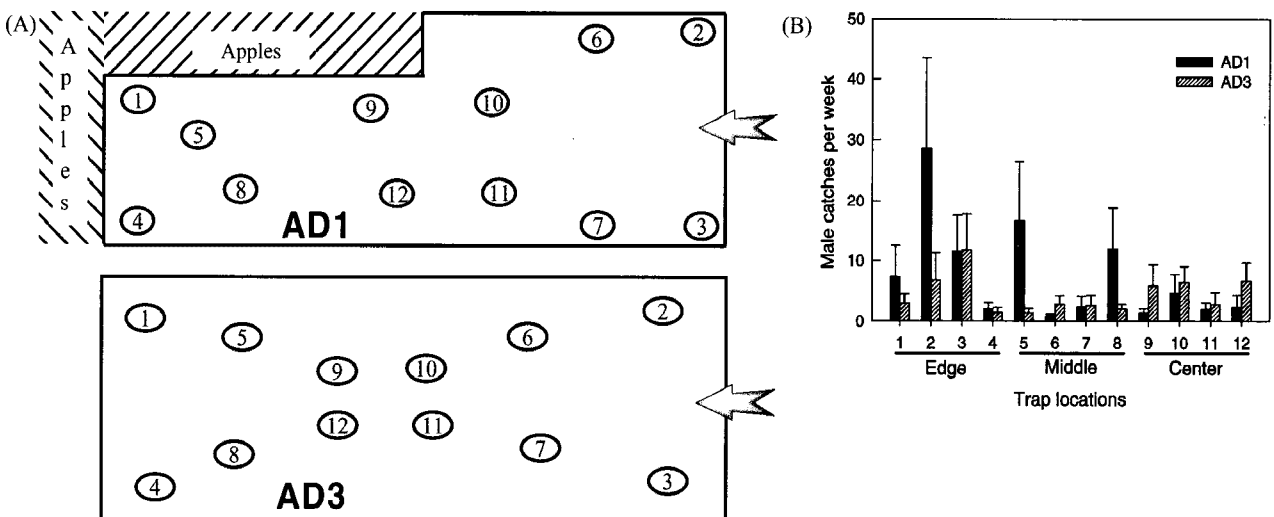
월동세대가 발생하는 시기에 이들의 집단 이동을 알아보기 위해 조사한 사과원 사이에 트랩을 설정하여 이들로 부터 얻어지는 포획 밀도 변동과 사과원에서 보여준 포획 밀도와 비교하였다(Fig. 2). 이들 트랩의 위치는 인근 사과원으로부터 가깝게는 수 십 미터('T1')에서 수 킬로미터 ('T4' 또는 'T5') 떨어져있도록 설치했다. 조사된 모든 사과원 밖 트랩에서 복숭아순나방이 포획되었으며, 이들

의 밀도 변화는 이 지역의 사과원에 발생하는 성충 밀도 변화(Fig. 1의 안동지역 발생상황)와 유사하게 나타났다. 이러한 경향은 이 지역의 최대 핵과류가 사과인 점을 고려한다면 복숭아순나방이 인근 사과원 사이에 이동이 있을 수 있다는 것을 의미했다.

다음은 사과원 내에서 복숭아순나방의 이동을 알아보기 위해 주변에 사과원이 접해있는 'AD1' 포장과 단독포장 형태의 'AD3' 포장을 대상으로 각 포장 내 트랩 위치에 따른 포획 밀도 차이를 분석했다(Fig. 3). 각 포장에 설치된 12개의 트랩에서 보여주는 포획 밀도는 두 사과원에서 서로 다른 양상을 보였고, 각 사과원에서는 시기적 및 위치에 따라 차이를 보였다(Table 1). 두 지역 모두는 트랩의 위치가 과수원 내부 보다는 들어오는 바람의 방향으로



**Fig. 2.** Movement of overwintering populations of *Grapholita molesta* among apple orchards. (A) Deployment of five monitoring sex pheromone traps ('T1'-'T5') among four orchards ('AD1', 'AD2', 'AD3', and 'KA'). Mountains (A) and stream ( ) are located among orchards. (B) Trap catches at each five monitoring sites from April 1 to May 30.



**Fig. 3.** Movement of overwintering populations of *Grapholita molesta* in each apple orchard. (A) Deployment of 12 monitoring sex pheromone traps (#1-12) in each two orchards (AD1 and AD3). AD1 orchard is close to neighboring orchard, while AD3 is isolated from other orchards. (B) Mean trap catches of 12 monitoring traps in each of AD1 and AD3 orchards from May 1 to May 30. Error bars indicate standard errors of means. Twelve traps are divided into three subgroups for analysis: traps (#1-4) at edge of orchard, traps (#5-8) at inside of orchard, and traps (#9-12) at center of orchard. Main wind direction (arrows) is denoted in each orchard.

**Table 1.** Statistics on trap catches of *Grapholita molesta* in 12 different locations within each of two apple farms ('AD1' and 'AD3'). Data were set forth in Fig. 3.

Source	df	SS	MS	F	P
Farm	1	307.20	307.20	3.99	0.0503
Time	4	4553.53	1138.38	14.80	< 0.0001
Trap	11	2491.90	226.54	2.94	0.0036
Time*Trap	44	3664.27	83.28	1.08	0.3842
Error	59	4538.80	76.93		
Total	119	15555.70			

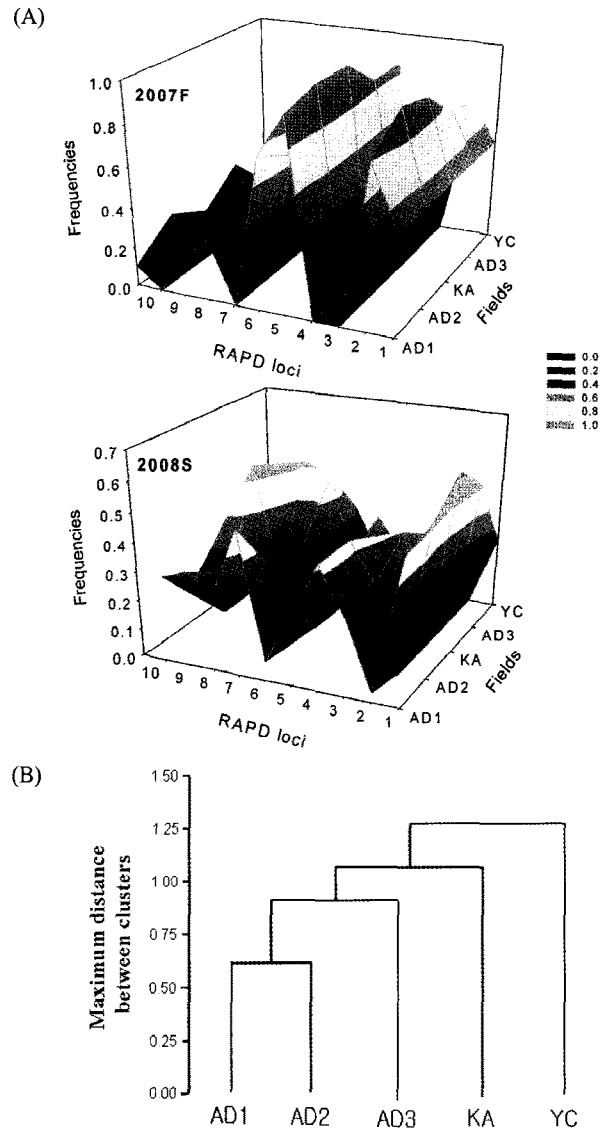
위치한 가장자리(2, 3번 트랩)에서 최대 발생을 보였다. AD1의 포장의 경우 인근 사과원에 접해있기에 일부 중간 영역(5, 8번 트랩)에서 높은 포획 밀도는 이에 기인되는 것으로 보여 진다. 또한 AD3과 같은 단독포장에서는 중앙에 위치한 트랩(9-12번)에서도 높은 포획 밀도를 보였다.

**월동세대 복숭아순나방 지역간 유전분화**

복숭아순나방 월동세대가 나타나는 초기에 서로 다른 지역에서 발생하는 수컷의 유전적 차이를 RAPD 방법으로 분석하였다(Fig. 4). 월동하기 이전 가을 세대를 대상으로 동일한 지역 집단들에 대해서 유전적 분석을 실시한 결과, 이들은 서로 유전적 분화를 보이지 않았다(Fig. 4A, Table 2). 월동이후 이듬해 봄 세대의 유전적 분화 여부가 동일한 RAPD 분자지표로 동일한 조건에서 분석되었다. 조사된 5개 지역은 이들 초기 봄 집단에서 유전적 분화 현상을 보였다. 이들 유전좌위를 통한 군집 분석은 이들 5개 지역의 뚜렷한 유전적 분화를 뒷받침하였다(Fig. 4B). 이는 각 지역에서 전년도 가을 집단과 이듬해 봄 집단의 차이에서 기인될 수 있다. AD1 지역을 제외하고 모든 4개 지역에서 이러한 유전적 차이를 뚜렷하게 나타냈다 (Table 2).

**고 찰**

성페로몬 트랩을 이용하여 월동세대 복숭아순나방 발생 패턴이 사과 재배지를 중심으로 조사되었다. 최대 발생 피크는 남부지역인 경산이나 영천이 안동에 비해 빨랐다. 복숭아순나방의 가해 습성이 과실 내부이기 때문에 부화하여 과실로 들어가기 전에 방제제를 투여하는 것이 방제에 이상적 시점이라 할 수 있다. 이를 착안하여 복숭아순나방 월동세대의 최대 성충 발생기를 결정하고, 이후 유효 적산온도 모델을 이용하여 산란 최성기의 횡수 및 제1세



**Fig. 4.** Local differentiation of overwintering populations of *Grapholita molesta* analyzed by PCR-RAPD. Males of overwintering populations were collected at April 20-25 using sex pheromone traps installed in five different localities of AD1, AD2, AD3, KA, and YC (see Fig. 2A). (A) RAPD frequencies of 2007 fall ('2007F') and 2008 spring ('2008S' = overwintering population) populations at 10 polymorphic loci. 2007F populations were collected during September. (B) Clustering analysis of five overwintering populations.

**Table 2.** Statistics on genetic differences between 2007 fall and 2008 spring populations in different localities. Data were set forth in Fig. 4.

Population <sup>1</sup>	X <sup>2</sup>	df	P
<b>Within seasons</b>			
2007 fall	11.55	20	0.9308
2008 spring	82.48	48	0.0014
<b>Between seasons</b>			
AD1	13.15	11	0.2833
AD2	20.24	10	0.0270
AD3	24.59	11	0.0105
KA	26.91	12	0.0080
YC	40.11	10	< 0.0001

<sup>1</sup>Local populations include three locations of Andong ('AD1', 'AD2', and 'AD3'), Kilan ('KA'), and Youngchun ('YC').

대 및 제2세대 산란 최성기를 예측하고 방제시기를 추정하는 기술이 소개되었다(Borchert *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2004). 본 연구 결과는 이러한 방제시기를 결정하는데 자료로서 제공될 수 있다. 그러나 사과와 더불어 복숭아를 가해할 수 있는 복숭아순나방은 이 두 기주에서 발육 속도가 다르기 때문에(Myers *et al.*, 2007) 보다 정밀한 발생 추정은 이를 고려한 모델 개발이 필요하다. 또한 비슷한 지역이라 하더라도 발생하는 복숭아순나방의 밀도 차이는 전년도 발생 밀도와 주변의 식생에 따라 다르게 나타날 수 있다. 발생 밀도가 높은 영천의 임고 지역과 안동의 길안 지역은 다른 지역에 비해 주변에 복숭아와 사과가 넓게 재배되는 지역들이다. 특별히 복숭아순나방이 복숭아에 대한 산란 선호성이 높아(Myers *et al.*, 2006) 복숭아 재배지가 위치한 사과원의 경우 복숭아순나방의 발생 밀도가 비교적 높게 나타났다.

본 연구는 복숭아순나방이 인접한 사과원 사이를 이동할 수 있다는 가능성을 간접적으로 시사했다. 즉, 이들 인접한 사과원 사이에 페로몬 트랩을 설치하였을 때 여기에 포획되는 복숭아순나방 밀도 변화가 인근 사과원의 발생 패턴과 유사하여 이들의 상호 이동 가능성이 추정된 것이다. 일반적으로 대부분의 복숭아순나방의 성충 이동은 약 200 m 이상을 초과하지 않는 것으로 알려져 있으나 일부 개체들은 1 km 이상 비행한다고 알려졌다(Rothschild and Vickers, 1991). 즉, 이렇게 과원들이 근접하게 배치되어 있을 경우 상호간 복숭아순나방 집단의 이동이 가능할 것으로 유추된다. 실제로 기존의 연구 결과는 인접한 무처리 사과원에서 교미교란제가 처리된 사과원으로 교미된 암컷의 유입이 가능하다고 제시하였다(Jung and Kim, 2008). 그러나 본 연구 결과만으로 복숭아순나방의 이동이 가능한 과원 사이의 거리가 어느 정도인지는 알 수

없다. 단지 과수원 밖의 복숭아순나방은 비교적 활발하게 움직이고 있으며, 반면에 과원 내부에 정착한 복숭아순나방은 비교적 이동 거리가 크지 않다고 본 연구는 추정하고 있다. 일반적으로 곤충의 기주 탐색행동이 분산과 이주로 나누어 본다면, 복숭아순나방은 과수원 밖에서는 기주를 찾으려는 활발한 분산행동을 보일 것이며, 기주를 찾게 된 과수원 내부에서는 기주와 기주 사이를 정착과 비교적 짧은 거리의 이주 행동을 되풀이할 것으로 해석된다.

발생 초기에 서로 다른 지역의 월동세대는 유전적으로 분화된 집단들로 구성되었다. 이러한 집단 분석을 위해 본 연구에서는 복숭아순나방 집단 연구에서 그 유용성을 입증한 RAPD 분자지표(Son and Kim, 2008)를 이용하였다. 겨울을 사이에 두고 이전 가을 집단에서 지역간 차이를 보이지 않았으나, 이듬 해 봄에는 뚜렷한 지역간 유전적 집단 차이를 보였다. 이러한 차이는 겨울이라는 환경도태압이 각 지역별로 상이하게 작용하였을 것이고, 이를 통해 선발된 집단 이듬해 월동세대로 대표될 수 있다. 즉, 겨울은 유전적 병목현상을 초래하게 한 인자가 될 수 있다. 본 연구의 조사지역과 비슷한 지역에서 월동세대의 유전분화 및 이에 대한 겨울의 병목현상이 비교적 비행 능력이 뛰어난 배추좀나방(*Plutella xylostella*)에서도 보고되었다(Kim *et al.*, 2001). 국내와 같은 온대 지역의 겨울은 곤충에게 극복해야 할 환경 위해 요소이고, 이를 위해 곤충은 휴면을 통해 이 기간 동안 먹이고갈 및 저온을 극복한다(Lee and Denlinger, 1985; Tauber *et al.*, 1986). 특별히 이러한 지역에서 부딪히는 환경 요인이 냉해 또는 동해로서 곤충은 내한성이라는 생리적 기작을 통해 대처하게 된다(Lee *et al.*, 1987; Lee, 1989). 복숭아순나방은 최종 유충 상태로 기주 나무 조피 틈에서 월동하는 것으로 알려지고 있다(Yang *et al.*, 2001). 그러나 어느 정도의

저온에서 복숭아순나방이 생존할 수 있으며, 집단내 이러한 내한성의 변이가 어느 정도인지 그리고 내한성의 정도에 따라 복숭아순나방의 변이가 뚜렷하게 구별될 수 있는지에 대한 연구가 없어 월동에 기인된 유전적 병목현상의 기작은 현재로서는 해석하기 어렵다.

이러한 초봄의 월동세대의 집단간 분화는 앞에서 기술한 바와 같이 사과원 사이로 이동할 가능성에 비추어 계절이 지나감에 따라 집단간 유전적 차이가 감소하는 “Wahlund’s effect”가 예견된다(Wahlund, 1928). 그러나 어느 지역 사이에 어느 정도 빨리 집단 분화가 감소할 지는 이들의 이동 가능성 및 정도에 따라 달라질 수 있기에 지속적 세대별 유전 분화 정도를 분석할 필요가 있다. 이러한 복숭아순나방 이동 분석은 현재 성페로몬을 이용한 교미 교란제 처리의 효과를 높이기 위해 광역화 처리의 지역 범위를 결정할 수 있는 논리적 자료로 제공될 수 있을 것이다.

## 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.
- 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.
- 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.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. 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., 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, 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, 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.
- Kim, Y., H. Park and M. Chung. 2001. Genetic analysis of three overwintering diamondback moth, *Plutella xylostella* (Linné), populations in Korea. Kor. J. Appl. Entomol. 40: 227-233.
- 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.
- Lee, R.E. 1989. Insect cold-hardiness: to freeze or not to freeze. Bioscience 39: 308-311.
- Lee, R.E., C.P. Chen, and D.L. Denlinger. 1987. A rapid cold-hardiness process in insects. Science 238: 1414-1417.
- Lee, R.E. and D.L. Denlinger. 1985. Cold tolerance in diapausing and nondiapausing stages of the flesh fly, *Sarcophaga crassipalpis*. Physiol. Entomol. 10: 309-315.
- Myers, C.T., L.A. Hull and G. Krawczyk. 2006. Effects of orchard host plants on the oviposition preference of the oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol. 99: 1176-1183.
- Myers, C.T., L.A. Hull and G. Krawczyk. 2007. Effects of orchard host plants (apple and peach) on development of oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol. 100: 427-430.
- 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. 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.
- Sambrook, J.E., F. Fritsh and T. Maniatis. 1989. Molecular cloning. A laboratory manual, 2nd ed. Cold Spring Harbor Laboratory, Cold Spring Harbor, NY.
- 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.
- 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.
- Tauber, M.J., C.A. Tauber and S. Masaki. 1986. Seasonal adaptation of insects. Oxford University Press, New York.

- 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.
- Wahlund, S. 1928. Zusammensetzung von Populationen und Korrelationserscheinungen von standpunkt der vererbungslehre aus betrachtet. *Hereditas* 11: 65-106.
- 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. *Kor. 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-Pac. Entomol.* 6: 97-104.

(Received for publication August 5 2008;  
revised August 26 2008; accepted August 27 2008)