韓應昆誌 45(3): 309~316 (2006)
Korean J. Appl. Entomol.

복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 성페로몬 합성과 유인력 교란생물검정

김용균* · 배성우 · 배수일 · 윤향미[1] · 홍용표[1]
안동대학교 생명자원과학부, [1]안동대학교 화학과

Chemical Synthesis and Orientation Disruption Bioassay of Sex Pheromone of the Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* (Busck)

Yonggyun Kim*, Sungwoo Bae, Sooil Bae, Hyang-mi Yoon[1] and Yong Pyo Hong[1]
School of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea
[1]Department of Chemistry, Andong National University, Andong 760-749, Korea

ABSTRACT : Three sex pheromone components (*cis*-8-dodecenyl acetate (Z12Ac), trans-8-dodecenyl acetate (E12Ac), *cis*-8-dodecenol (Z12OH)) of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, were chemically synthesized. Especially to increase the composition of *cis*-stereoisomer, a triple bond intermediate was hydrogenated at -20℃ with catalytic Pd/$BaSO_4$. The resulting product consisted of the acetates with a stereoisomer ratio in 92:8 (Z:E). The biological activity of the synthesized pheromone compounds was analyzed both in male responses and orientation disruption. The indoor pheromone effect was determined by male flight behavior showing wing movement in response to lure. Different mixtures of the synthetic pheromone components were prepared by mixing acetate and alcohol components in 100:0, 99:1, and 90:10 (g/g) and tested with a comparison of a standard commercial pheromone lure. The highest pheromone effect was observed in only acetate mixture (100:0) and the effect was reduced with the addition of the alcohol component. This indoor pheromone effect could be observed in field monitoring trial, in which 100:0 mixture showed the highest trap catches. Orientation disruption assay was conducted indoor by using a cage, in which the center had a commercial lure on sticky plate and the four candidates were placed at 6 cm away from the central lure on each of four directions. Test males were released to the arena during overnight (12 h) and then the caught males on the sticky plate were counted. The synthesized pheromone as well as the commercial pheromone showed 100% orientation disruption. However, the orientation disruption effect was reduced with decrease in the number of the surrounding disrupting pheromone baits. These results clearly suggest that the synthesized sex pheromone of *G. molesta* is biologically active and can be used for field mating disruption.

KEY WORDS : Oriental fruit moth, Chemical synthesis, Pheromone, Mating disruption, Mating behavior, Orientation

초 록 : 유기합성 기술을 통해 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 성페로몬 세 가지 성분(*cis*-8-dodecenyl acetate (Z12Ac), *trans*-8-dodecenyl acetate (E12Ac), *cis*-8-dodecenol (Z12OH))을 제조하였다. 이중결합 페로몬 성분의 *cis* 이성질체 비율을 높이기 위해 이 부위의 삼중결합 유도후 Pd/$BaSO_4$로 -20℃에서 환원시켰다. 최종산물인 아세테이트류의 광학이성체 비율은 92:8(Z:E)을 나타냈다. 이들 합성 페로몬의 생물활성을 검정하기 위해 유인력 분석과 유인력교란 분석으로 나누어 실시되었다. 유인력 분석은 실내에서는 수컷 날개행동유기를 기준으로 분석하였다. 표준구로서 상용 유인제를 이용하였다. 분석 페로몬

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

조제는 아세테이트류와 알코올류가 각각, 100:0, 99:1, 99:10(g/g)으로 조제하여 비교하였다. 실내 교미 유인력은 100:0에서 가장 높았고, 알코올류가 포함된 조성은 낮은 유인력을 보였다. 야외 유인력은 페로몬 트랩을 이용하였으며, 실내 분석과 같이 100:0에서 가장 많은 수컷 유인력을 나타냈다. 유인력교란 분석은 실내에서 간이모형을 이용하였다. 중앙에 상용페로몬을 끈끈이판에 놓고, 주위 네 방향으로 분석될 페로몬을 설치한 후, 12시간 노출시험을 진행하였다. 이 결과 상용페로몬과 합성페로몬(100:0)은 모두 100% 유인교란 효과를 보였다. 그러나 교란용 페로몬의 숫자가 줄어듬에 따라 유인력교란효과는 낮아지는 현상을 나타냈다. 이상의 결과는 복숭아순나방의 합성페로몬이 생물적 활성을 지니며, 교미교란에 이용될 수 있음을 제시하고 있다.

검색어 : 복숭아순나방, 화학합성, 페로몬, 교미교란, 교미행동, 유인력

해충방제 기술의 일환으로 페로몬을 이용한 교미교란은 페로몬을 해충의 서식지에 충분한 양으로 방출시켜서 수컷이 자기 교미대상을 찾으려는 능력을 저하시키려는 기술이다(Cardé and Minks, 1995). 교미교란을 유도하는 생리적 기작은 암컷이 분비한 페로몬 자취를 교란하는 원리와 수컷 감각기의 둔감화로 구분될 수 있다(Baker and Heath, 2005). 즉, 서식지에 배치된 합성페로몬이 암컷에 의해 분비되는 페로몬과 시간과 공간면에서 경쟁적으로 작용하거나 또는 암컷으로 유도되는 페로몬 자취를 은폐시키는 작용에 의해 수컷이 암컷을 찾지 못하게 하는 기작들을 포함한다. 또한 계속된 노출로 수컷 성페로몬 감각기가 습관화되어 페로몬 감지능력을 저하시키는 것도 교란의 기작이 될 수 있다.

복숭아순나방(*Grapholita molista* (Busck) (Lepidoptera: Tortricidae))은 전 세계적으로 복숭아와 사과의 주요 해충이다(Rothschild and Vickers, 1991). 이 해충은 유충이 과실 내부에서 가해하기 때문에 살충제의 직접 접촉에 의한 방제가 어렵고, 외국의 경우 유기인계와 카바메이트계 살충제에 대한 저항성까지 보고되어 방제의 어려움을 가중시키고 있다(Pree *et al.*, 1998; Kanga *et al.*, 2001; Usmani and Shearer, 2001). 또한 이 해충의 가해시기가 사과의 수확직전기간까지 미쳐 이 시기 화학농약의 살포가 제한적이기 때문에 다른 방제 기술이 필요로 하게 되었다.

복숭아순나방의 성페로몬 성분이 밝혀지면서(George, 1965; Cardé *et al.*, 1979) 이 해충의 방제 기술의 하나로서 교미교란이 제안되었고, 포장에서 집중적으로 현장 검증이 이루어졌다. 다량의 합성페로몬을 처리하는 경우 암컷의 탐색 능력을 저하시키고, 이러한 효과가 화학농약의 효과와 견줄 수 있었다(Rothschild, 1975, 1979). 이러한 방제의 기술적 가능성은 Charlton and Cardé (1981)가 복숭아순나방 페로몬을 이용하여 교미교란의 효과를 보여준 것을 기반으로, 여러 풍동 행동 반응 연구들은 교미교란제의 페로몬 성분 유출속도를 암컷이 분비하는 속도와 유사하게 맞춰주는 경우에 수컷의 암컷 탐색 능력을 뚜렷히 저하시키는 것을 확인시켜 주었다(Sanders and Lucuik, 1996; Valeur and Löfstedt, 1996).

국내에서도 복숭아순나방 집단에 효과적 페로몬 조성이 밝혀지고(Boo, 1998), 이를 이용한 야외 집단의 모니터링(Yang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2004) 및 교미교란(Yang *et al.*, 2003)이 시도되었다. 또한 상품화된 교미교란제를 이용하여 월동세대에 대한 효과적 교미교란 및 피해억제 결과가 나왔다(Jung *et al.*, 2006). 그러나 교미교란을 이용한 복숭아순나방의 방제 기술을 국내에 이상적으로 적용하기 위해서는 효과와 경제적 측면을 고려해야 한다. 외국에 비해 재배규모가 작은 국내 과수 현실을 고려하여 이 기술을 적용하는 데는 특별히 높은 교미교란 효과가 우선된다는 점이다. 이를 위해 기존의 보고에서는(Jung *et al.*, 2006) 상용 교미교란제 가운데 효과가 비교적 우수한 두 가지 제품을 비교하였고, 여기서 특정 페로몬 조성(*cis*-8-dodecenyl acetate 함량)이 중요한 요소로서 교미교란 효과 제고에 필요하다는 방향을 제시하였다. 본 연구에서는 이 단일이성체의 비율이 높은 페로몬 성분을 합성하는 목표를 두었고, 부가적으로 국내 합성기술을 이용하여 기존에 수입에 의존한 페로몬 공급단가를 낮추려 시도되었다. 또한 합성 또는 상품화된 복숭아순나방 교미교란제의 제품관리 측면에서 비교적 빠르고, 정확한 페로몬 생물검정법을 개발하는 데 목적을 두었다.

재료 및 방법

복숭아순나방 성페로몬 합성 및 생물검정 시료 조제

복숭아순나방 페로몬 합성은 Fig. 1에서 도해된 과정을 따랐다. 1,7-Heptanediol을 HBr로 단일 브롬화시킨 후, 남은 수산기를 dihydropyran (DHP)으로 보호하였다. 결과의 ether 3을 1-pentyne과 결합시켜 C8에 삼중결합을 도입한 화합물 4를 만든 후, -20℃에서 Pd 촉매로 수소화하여 *cis* 화합물 5를 얻었다. 이후 보호기를 제거하여 *cis*-6-dodecen-1-ol (6)을 얻었고(Fig. 2A), 이를 아세틸화하여 최종산물인 8-dodecen-1-yl acetate (7)를 얻었다 (Fig. 2B). 이 최종산물의 입체이성질체(*cis* : *trans*) 비율은 92 : 8이었으며, 6단계 전 합성수율은 58%였다.

합성된 페로몬 성분의 가스크로마토그라피 분석은 Focus GC (Thermo Electron co. Milan, Italy)와 DB-25 column (30 m × 0.250 mm, Agilent Technologies, Inc. Palo Alto, CA, USA)을 이용하여 오븐 온도 125℃, 흐름속도 1.0 ㎖/min, 주입시료량 2 ㎕로 분석되었다.

합성된 페로몬 성분의 생물활성을 분석하기 위해 페로몬 성분 가운데 아세테이트류 성분과 알코올 성분을 헥산을 이용하여 각각 1 ㎍/㎕ 농도로 용해시켰다. 이를 다시 92% *cis* 이성체를 포함한 합성 아세테이트류와 알코올류가 각각 100:0, 99:1, 90:10의 중량비율로 혼합한 후 총 100 ㎕를 각 고무방출기(Sigma, MO, USA)에 분무하였다. 후드에서 용매를 휘발시킨 후(약 10분) 페로몬 침적된 방출기를 분석에 이용하였다. 대조구는 헥산만 처리된 고무방출기를 이용하였다.

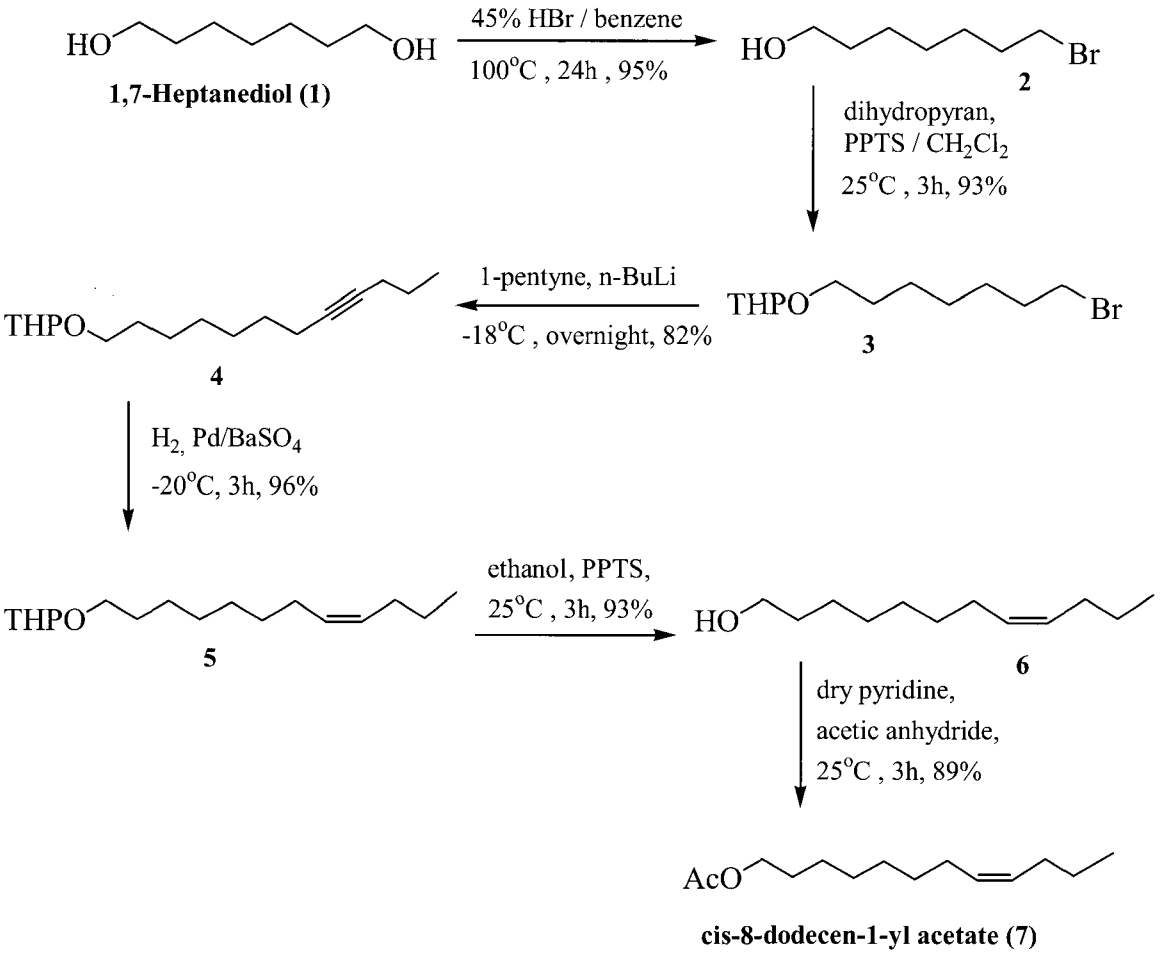


Fig. 1. Chemical synthesis process of three pheromone components of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*. 1: 1,7-heptanediol, 2: 7-bromoheptan-1-ol, 3: 7-bromoheptan-1-ol tetrahydropyranyl ether, 4: 8-dodecyn-1-ol tetrahydropyranyl ether, 5: *cis*-8-dodecen-1-ol tetrahydropyranyl ether, 6: *cis*-8-dodecen-1-ol, 7: *cis*-8-dodecen-1-yl acetate. 'PPTS' and 'THPO' represent pyridinium *para*-toluene sulfonate and tetrahydropranyloxy, respectively.

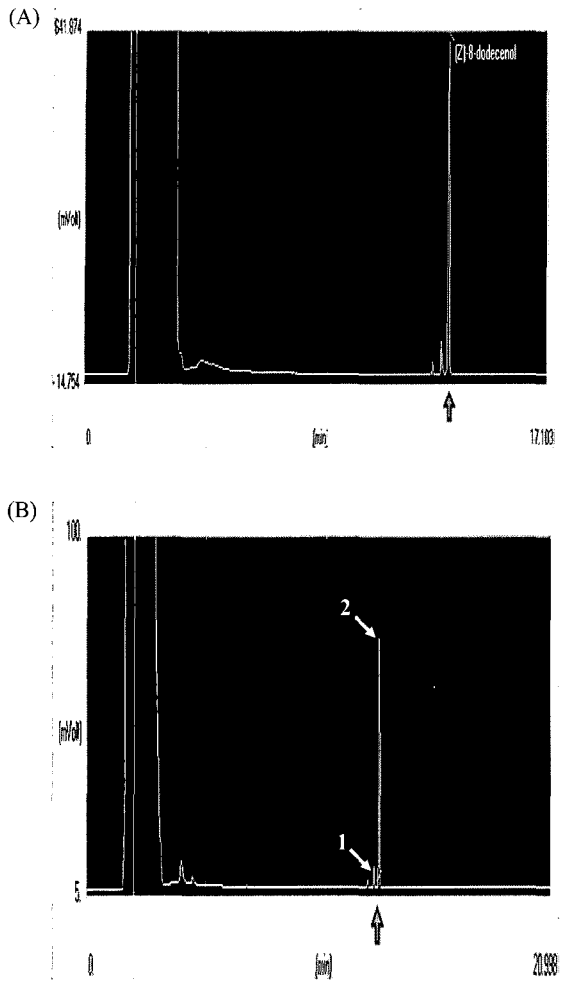


Fig. 2. Gas chromatograms of three synthesized pheromone compounds: (A) *cis*-8-dodecen-1-ol at 13.475 min of retention time (B) *trans*-8-dodecen-1-yl acetate (1) at 13.000 min and *cis*-8-dodecen-1-yl acetate (2) at 13.233 min.

복숭아순나방 채집

본 연구에서 사용된 복숭아순나방 수컷은 모두 페로몬 트랩을 이용하여 수거된 야외 개체군이다. 트랩은 함정형태로 구성되어 합성페로몬((주)그린아그로텍)을 미끼(Z12Ac, E12Ac, Z12OH의 성페로몬 성분들이 각각 88.5 : 5.7 : 1.0%로 포함)로 유인된 수컷이 수거통으로 모이게 되면, 매일 야외에서 수거하는 형태로 채집되었다. 채집은 2006년 8-9월에 안동시 송천동 남선면 사과원에서 이뤄졌다.

수컷반응 생물 검정법

페로몬 효과에 대한 종말점으로 수컷이 보이는 일련의 교미행동 가운데 날개운동을 이용하였다. 생물검정은 투명한 아크릴로 제작된 반응기(60×25×25 cm : 길이 × 폭 × 높이)에 수컷을 방사하고, 모두 쉬고 있는 상태에서 분석될 페로몬 방출기를 노출시켰다. 이후 10분 내에 날개 짓을 하는 모든 개체를 세어 수컷반응으로 결정하였다. 행동시간은 처음 날개 짓을 보인 때를 의미하며, 이를 기준으로 처리별로 10분 이내에 행동을 보인 개체수를 세었다. 생물검정은 복숭아순나방의 활동시각인 오후 8시부터 11시까지만 실시하였다. 각 반복별로 10-15마리의 수컷을 3반복으로 분석하였다.

야외에서 합성페로몬의 유인력을 검증하기 위해 페로몬 트랩을 상기 기술한 채집지에 설치하였다. 서로 다른 페로몬 함량을 100:0, 99:1, 90:10(아세테이트류 : 알코올류)의 비율로 배합한 분석페로몬을 고무방출기에 처리하고, 이를 10 m 간격으로 배치하였다. 무처리구는 헥산 대조구를 이용하였다. 채집시기는 2006년 9월 6일부터 9월 20일까지 실시되었다.

실내 유인력교란 생물검정법

유인력교란이 모형상자(23×18×13 cm)를 이용하여 실내에서 분석되었다. 중앙에 상용페로몬이 처리된 페로몬 방출기를 끈끈이 판(5×5 cm) 위에 놓고, 주위 네 방향으로 분석될 페로몬을 설치하였다(Fig. 5 참조). 이후 수컷을 방사한 후 25℃에서 12 시간(오후 9시-오전 9시) 노출시험으로 진행하였다. 이후, 끈끈이 판에 붙잡힌 수컷을 조사하여 유인력교란 효과를 산출하였다. 각 처리는 10-15마리의 수컷이 이용되었다.

통계분석

조사 자료가 100분율인 경우는 arcsine으로 전환한 후 ANOVA 분석하였다. SAS 프로그램(SAS Institute, 1988)의 PROC GLM을 이용하여 one-way ANOVA를 실시하였으며, 최소유의차검정법으로 평균간 차이를 비교하였다.

결 과

수컷 교미행동반응

페로몬 성분에 대한 복숭아순나방 수컷 교미행동 반응을 분석하였다. 먼저 이러한 교미행동을 분석하기 위해서는 비교적 빠르고 손쉽게 검정이 가능한 실내 생물검정법 개발이 필요했다. 이를 위해 복숭아순나방 수컷의 상용페

로몬 노출에 따른 행동변화를 유관으로 관찰했다. 관찰할 때 행동은 선행연구를 기초로 촉각세우기, 털뭉치세우기, 날개행동유기, 유인행동으로 나누어서 관찰하였다. 비교적 수컷 반응이 잘 이뤄지는 시간대에서 관찰하면, 페로몬 노출전에도 많은 수컷이 이 시간대에서 촉각을 세우고 있기 때문에 페로몬 효과를 검정하는 데 어려웠다. 또한 복숭아순나방의 경우 털뭉치세우기 반응이 관찰되지 않았다. 또한 비교적 좁은 공간에서 이뤄지는 이러한 행동반응은 유인행동을 판단하기에 어려움이 있었다. 결국 페로몬 노출에 가장 신빙성있게 반응하는 행동은 날개행동유기로 판명되었다. 날개행동유기를 노출후 시간대별로 조사한 결과 대부분 10분 이내에 나타났고, 10분 이후의 행동유기는 무처리구에서도 나타날 수 있어, 페로몬의 직접적 효과로 인정하기에는 곤란하였다(미발표자료). 수컷날개행동유기를 기준으로 복숭아순나방의 하루중 상용페로몬에 반응하는 시간대를 조사하였다(Fig. 3). 야외채집충을 기준으로 조사하였기에 이들의 행동 시간대는 채집당시의 일장으로 이해될 수 있다. 즉, 채집당시가 8-9월경으로 일조시간은 오전6시경(8월 : 05시 42분, 9월 : 06시 7분), 일몰시간은 오후7시경(8월 : 19시 14분, 9월 : 18시 32분)으로 일장이 약 13시간을 나타냈다. 이때 복숭아순나방 수컷은 밤기간은 물론이고 아침과 저녁무렵에 행동반응을 보이는 것으로 나타났다.

합성페로몬 수컷유인효과 검정

합성된 페로몬의 주성분별로 상이한 혼합조성을 만들었다. 이에 대한 유인효과 분석이 실내와 야외에서 이뤄졌다. 실내에서는 수컷의 날개행동유기를 기준으로 상이한 합성페로몬 조성에 대한 수컷 페로몬 반응성을 조사하였다(Fig. 4). 무처리구의 비교적 높은 날개행동 반응은 본 연구의 조사시간대가 복숭아순나방의 주요 활동시간대에 기인된 주기적 행동으로 여겨진다. 그러나 페로몬 처리구에서는 이 보다 높은 뚜렷한 유기효과가 나타났다. 아세테이트류만 존재하는 조성(100:0)에서 무처리에 비해 뚜렷이 높은 행동유기가 나타났다. 다른 조성은 무처리구에 비해 평균값에서는 높았지만, 통계적으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 야외 포장 조사는 비교적 후반기 계절적 요인으로 포획된 수컷의 밀도는 낮지만, 실내분석의 결과와 유사하게 아세테이트류에서 가장 많은 포획밀도를 보였고, 다른 조성에서는 유인 효과는 있었지만, 비교적 낮은 포획밀도를 나타냈다.

실내 유인력교란효과

실내 유인력교란효과는 일정 사육용기에서 상용페로몬을 유인의 중심으로 설정하고, 이 유인페로몬 주변으로 검정할 합성페로몬을 배치하면서 수컷의 유인력 교란을

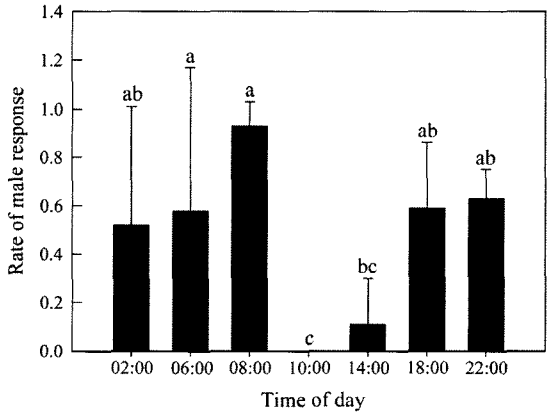


Fig. 3. Diel rhythm of male responses of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, to a commercial sex pheromone. The male response was determined by wing movement in response to the lure within 10 min. Each measurement consisted of 10-15 males and was replicated three times. Different letters above the error bar represent significant difference between means at Type I error = 0.05 (LSD test).

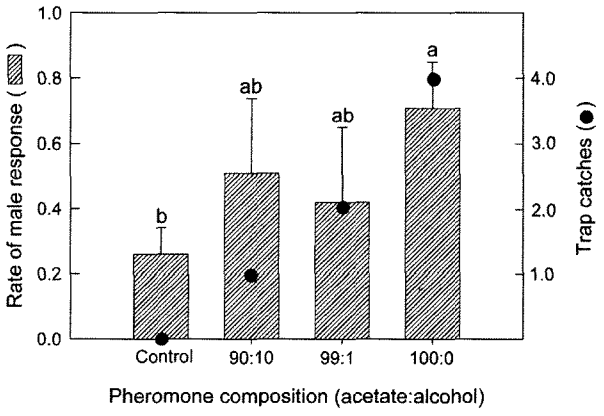
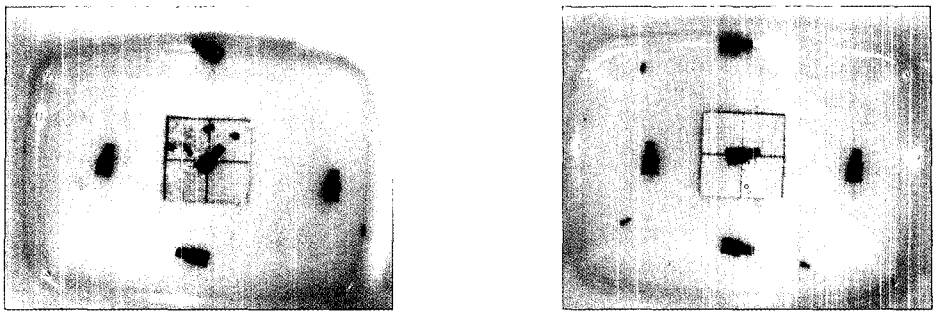


Fig. 4. Effect of pheromone composition on male response in laboratory (bar) or on field male catch (black circle). Each acetate or alcohol component contained a mixture of *cis* and *trans* dodecenyl acetates or alcohols in 92:8 ratio. The male response was determined by wing movement in response to the lure within 10 min. Each measurement consisted of 10-15 males and was replicated three times. Different letters above the error bar represent significant difference between means at Type I error = 0.05 (LSD test).



Treatment	Array of candidates				# test males	# caught	Efficacy (%) of orientation disruption	X^2 (df = 1)	*P*
	N	E	W	S					
Control	X	X	X	X	10	10	0.0	-	-
Synthetic	O	O	O	O	13	0	100.0	23.00	<0.0001
	O	O	O	X	12	2	83.3	15.28	<0.0001
	O	O	X	X	10	8	20.0	2.22	0.1360
	O	X	X	X	10	10	0.0	0.00	1.000
Commercial	O	O	O	O	10	0	100.0	20.00	<0.0001

Fig. 5. Demonstration of orientation disruption in cage (23×18×13 cm). The center consists of a commercial lure (Green Agro Tech, Inc., Kyungsan, Korea) on sticky plate (5×5 cm). The four candidates are placed at 6 cm away from the central standard lure on each of four directions (N, E, W, S). Ten to thirteen males are released to the arena for 12 h (9 pm-9 am) at 25℃ and then the caught males on the sticky plate are counted. The table shows the bioassay result. Control used all hexane treatments ('X') in four directions. Synthetic pheromone ('synthetic', 'O') used only acetate components (100:0, see Materials and Methods). A commercial lure ('commercial', 'O') was used for a positive control. The chi-square test was performed by comparing the treatment effect with the control effect.

분석하도록 구상되었다(Fig. 5). 가운데 유인페로몬 주변으로 무처리 방출기를 배치할 경우 2시간이내에(관찰 최단시간) 모든 수컷이 페로몬 주변으로 몰려들어 끈끈이판에 부착되어 있는 것을 관찰하였다. 그러나, 주변에 합성페로몬 또는 상용페로몬을 배치할 경우 수컷의 최적 반응시간대인 저녁 9시부터 다음날 아침 9시까지의 12시간동안 노출 후에도 한 마리도 중심의 유인페로몬으로 접근하지 못하는 것을 관찰하였다. 이러한 경향은 주변 합성페로몬 밀도를 낮춰줌에 따라 감소하였다. 또한 주변 페로몬 처리 가운데 페로몬이 놓이지 않은 방향으로 수컷이 중심의 유인페로몬으로 유인되는 것을 관찰하였다.

고 찰

복숭아순나방의 교미교란을 통한 해충밀도 억제 및 과실피해 감소효과가 국내외에서 진행되고 있다. 이는 친환경농업이라는 추세속에서 가속화될 전망이다. 그러나, 이러한 긍정적 경향 속에서 개별 농가 현실로 조명하여 보면, 교미교란기술을 확대적용하는 데는 아직도 풀어야 할 난제들이 남아있다. 무엇보다도, 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. 또한, 교미교란의 특성상 국내와 같이 비교적 좁은 재배지에서는 효과를 거두기 어렵다는 것이다. 비행능력이 뛰어난 나비목 해충들이 비처리지역의 외부에서 이주해 들어올 수 있는 거리에 있다면, 교미교란의 효과는 매우 희석될 것이다. 이러한 난제들을 풀기 위해서는 우선은 효과적 교미교란제 개발과 생산단가를 낮추어서 대단위 규모로 적용이 가능하게 하는 방법을 취해야 한다. 본 연구는 이러한 교미교란기술 적용에 있어서 어려운 명제들 앞에 해결될 수 있는 방향을 제시하고 있다.

첫째로 복숭아순나방 성페로몬의 화학합성에 기술적 개선이 이뤄졌다. 비록 많은 합성 단계가 기존에 보고된

방식을(Babler and Coghlan, 1979; Aukrust *et al.*, 1985) 따랐지만, 이 가운데 중요한 *cis*형태의 입체이성질체(Z12Ac)가 본 연구팀에서 고안된 새로운 반응조건에서 높게 합성되었다는 점이다. 이는 상용되어 있는 제품보다 높은 유효 이성질체 비율을 포함하고 있어 산업화 기술로 인정받을 수 있게 되었다. 복숭아순나방 교미교란에 중요한 변수인 Z12Ac의 함량 제고(Jung *et al.*, 2006)를 위한 새로운 합성방법을 현재 시험중이며, 이는 복숭아순나방 교미교란제 효과를 극대화시킬 수 있는 기술적 성과를 올릴 수 있을 것으로 기대된다.

둘째로 합성페로몬에 대한 복숭아순나방의 실내 생물검정 기반으로 유인력 검정법이 개발되었다. 유인력 검정은 페로몬에 반응하는 수컷의 날개행동유기로 판별되었다. 이는 근거리행동 반응 분석으로 분류될 수 있다(Bartell, 1977). 즉, 촉각세우기, 털뭉치세우기, 날개짓 및 유인행동을 포함하게 된다. 이러한 행동반응을 재현성있게 가져가기 위해서는 내외부의 행동반응 요인들을 표준화할 필요가 있다(Baker and Cardé, 1984). 수컷들이 일반적으로 보이는 하루중 반응 리듬성을 조사하였고, 대부분의 교미행동 반응성이 밤기간은 물론이고 아침과 저녁 무렵에 일어나는 것으로 나타났다. 이를 기준으로 수컷의 반응성 분석이 합성페로몬을 대상으로 이뤄졌다.

셋째로, 합성페로몬은 뚜렷한 수컷 교미반응유기와 유인력을 보유하였다. 실내 수컷행동반응으로 분석한 결과 아세테이트류만이 포함된 페로몬조성이 알코올류를 포함한 것에 비해 우수한 행동유기를 보였고, 이는 다시 야외 유인력 시험에서 동일한 경향을 나타냈다. 아세테이트 관능기에 대한 페로몬의 특이성은 이 관능기와 유사한 원자 또는 원자단으로 치환하였을 때 나타나는 촉각반응이나 행동유기 저하에서 알 수 있다(Hoskovec *et al.*, 1996). 또한 이러한 반응은 기존의 야외 교미교란 효과 검증에서 Z12Ac의 함량이 높을수록 교미교란 효과가 높다는(Jung *et al.*, 2006) 결과에서도 뒷받침되고 있다.

마지막으로 본 연구는 실내 유인력교란 모형을 제작하였고, 합성페로몬이 유인력교란의 뚜렷한 작용을 보여주고 있다는 것을 보여 주었다. 이 모형은 유인페로몬 주변에 교란페로몬을 배치하여서 수컷으로 하여금 유인페로몬으로의 방향을 교란시키는 효과를 주도록 구상되었다. 합성페로몬을 네 방향에 배치한 경우 수컷은 유인페로몬으로 유인되지 못하였고, 단 하나의 방향에서 교란페로몬을 제거하는 경우에 교란 효과는 뚜렷하게 낮아지는 것을 미뤄 유인력교란 장치의 판별성을 입증할 수 있다. 일반적으로 유인력 교란에 기초한 교미교란의 효과는 암컷이 분비하는 페로몬 자취에 교란을 주는 작용기작과 수컷의 감각기 습관화로 분류될 수 있다(Baker and Heath, 2005). 본 모형에서는 전자의 효과가 크게 작용하여 유인페로몬의 자취를 주변의 교란페로몬이 은폐시키는 형태로 작용하였을 경우가 클 것으로 추측된다. 그러나 장기간 노출에 따른 수컷의 페로몬 둔감화도 본 교미교란 효과에 작용하였을 것으로 생각된다. 야외 조건에서 항시 노출된 교란페로몬의 효과는 수컷의 경우 이러한 둔감화를 초래하고, 이에 따라 교미교란 효과를 가져오게 된다. 또한 기존에 밝혀진 국내 복숭아순나방의 페로몬 조성에서 알코올류가 빠진 아세테이트류만 포함된 교미교란제가 유인력과 교미교란 효과를 보였다는 점에서 주목할 필요가 있다. 이러한 현상은 교미교란 작용 가운데 수컷 둔감화에서 사례를 찾아 볼 수 있다. 수컷감각기의 습관화에 따른 교미교란 효과는 여러 페로몬 성분 가운데 일부 성분만을 노출시켰을 경우에 나타나는 교미교란 효과에서 그 중요성을 인정할 수 있다. 목화다래나방(*Pectinophora gossypiella*)의 경우 (Z,E)-7,11-hexadecadienyl acetate와 (Z,Z)-7,11-hexadecadienyl acetate의 두 가지 페로몬성분이 50:50으로 존재하여야 수컷 유인효과가 높고, 어느 한 성분만으로는 유인효과가 거의 없다(Flint *et al.*, 1979). 더욱이 (Z,Z) 이성체만으로는 실내에서 풍동반응도 보이지 않았다(Linn and Roelofs, 1985). 그러나, 교미교란 효과에 있어서는 이 단일 이성체만으로도 뚜렷한 교미교란효과를 나타냈다(Flint *et al.*, 1988). 이러한 상반된 결과는 단일 이성체가 수컷 유인효과가 없어, 암컷 페로몬과의 유인력에 있어 경쟁적 교란이라기 보다는 수컷 자체의 페로몬 자극 인식에 있어서 신경생리학적 습관화에 기인된 것으로 해석된다.

본 연구는 페로몬합성 및 새로운 실내 생물검정 기술을 제시함으로 이 복숭아순나방 교미교란제의 적용확대를 위한 제반 연구로서 의미를 갖게 되었다.

사 사

본 연구에 사용되었던 상용페로몬의 공급과 야외 트랩을 제공하여준 (주) 그린아그로텍에 감사드립니다. 본 연구는 농림기술관리센터에서 지원한 2006년도 농산업기술개발사업으로 수행되었습니다.

Literature Cited

Aukrust, A., P. Rongved and L. Skatteboll. 1985. The synthesis of (Z)-8-dodecen-1-ol and its acetate, pheromone components

of the oriental fruit moth (*Grapholitha molesta*). Acta Chem. Scand. 39B: 267-272.

Babler, J.H. and M.J. Coghlan. 1979. A facile method for monoacetylation of symmetrical diols: application to the total synthesis of Z8-dodecenyl acetate, the sex attractant of the oriental fruit moth. Tetrahedron Lett. 20: 1971-1974.

Baker, T.C. and R.T. Cardé. 1984. Techniques for behavioral bioassays. pp. 45-73. *In* Techniques in pheromone research, eds. H.E. Hummel and T.A. Miller. 464 pp. Springer-Verlag, New York.

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.

Bartell, B.J. 1977. Behavioral responses of Lepidoptera to pheromone. pp. 201-213. *In* Chemical control of insect behavior. eds. by H.H. Shorey and J.J. McKelvey, Jr. 414 pp. John Wiley & Sons, Inc., New York.

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 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.

Flint, H.M., M. Balasubramanian, J. Campero, G.R. Strickland, Z. Ahmad, J. Barral, S. Barbosa and A.F. Khail. 1979. Pink bollworm responses of native males to ratios of Z,Z and Z,E-isomers of gossyplure in several cotton growing areas of the world. J. Econ. Entomol. 72: 758-762.

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.

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.

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.

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, 1988. SAS/STAT user's guide, Release 6.03, Ed. Cary, N.C.

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. Behviour of male oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, in overlapping sex pheromone plumes in a wind tunnel. Entomol. Exp. Appl. 79: 51-59.

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 27 September 2006;
accepted 10 November 2006)