

복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 교미교란
방제기술 개발

Development of Mating Disruption Technology Against
Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta*

연구수행기관
(주)그린아그로텍

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 교미교란 방제기술 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2009 년 4 월 30 일

주관연구기관명 : (주) 그린아그로텍

주관연구책임자 : 박만웅

연 구 원 : 박천우

연 구 원 : 정성채

협동연구기관명 : 농촌진흥청 사과연구소

협동연구책임자 : 이순원

협동연구기관명 : 안동대학교

협동연구책임자 : 홍용표

협동연구책임자 : 김용균

요 약 문

I. **제 목:** 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 교미교란 방제기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 복숭아순나방의 성페로몬을 이용한 교미교란 처리 기술 개발
- 과실 내부 섭식에 따른 화학방제의 어려움으로 성충에 대한 방제 기술 개발 필요성

III. 연구개발 내용 및 범위

- 복숭아순나방 성페로몬의 화학합성
- 교미교란제 처리를 위한 페로몬 방출기 개발
- 사과원 교미교란제 처리 기술 개발

IV. 연구개발결과

- 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.
- 왁스형 페로몬 방출기를 제작하여 사과원에 발생하는 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 밀도를 억제하기 위한 교미교란제로 응용하였다.
- 개발된 왁스형 교미교란제를 기준량(350평당 120g)으로 처리하고 연간 복숭아순나방의 밀도 변화와 기주 피해를 분석한 결과, 현재 상용화되고 있는 교미교란제(Isomate[®])와 뚜렷한 차이 없이 복숭아순나방 밀도 억제와 과실피해 감소효과를 나타냈다. 본 연구는 또한 교미교란 처리지역 가장 자리에 먹이트랩을 배치할 경우 비처리지역에서 유입되는 교미된 암컷의 이동을 막는 효과를 나타내는 것으로 확인하였다.

V. 연구성과 및 성과활용 계획

- 복숭아순나방 성페로몬 유기합성 기술 확보 및 교미교란제의 국산화(특허출원)
- 국내 사과원 복숭아순나방 교미교란 처리 기술 개발(논문발표)
- 심식나방류 판별 분자지표 개발(기술이전)
- 복숭아순나방 교미교란제 농산업화((주) 그린아그로텍)

SUMMARY

I. **Title:** Development of Mating Disruption Technology Against Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta*

II. Research Objective and Rationale

- Development of mating disruption techniques using sex pheromone of the oriental fruit moth
- Necessity of adult control of the oriental fruit moth due to difficulty in larval control by their internal feeding

III. Research Scope and Strategy

- Chemical synthesis of sex pheromone components of the oriental fruit moth
- Development of pheromone dispenser for mating disruption of the oriental fruit moth
- Development of application techniques of the mating disruptor in apple orchards

IV. Results

- 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.
- A wax-typed pheromone dispenser has been developed and applied to control outbreak of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, in apple orchard.
- In a field test during entire growing season, a standard amount (120 g per 0.117 ha) of wax-typed pheromone dispenser was proved to be effective to suppress outbreak of *G. molesta* adults and to prevent host plant damage as much as a current commercial MD product (Isomate[®]). This study also demonstrated an effectiveness of deployment of food trap barriers around MD-treated area to prevent immigration of mated females from outside untreated areas.

V. Research Outcomes and Their Applications

- Development of chemical synthesis of the sex pheromone components and the pheromone dispenser by domestic technique (Patent)
- Development of mating disrupter application in domestic orchard environments (Scientific papers)
- Development of molecular markers discriminating internal feeders (Technology transfer)
- Industrialization of mating disruptor against the oriental fruit moth in agriculture (Green AgroTech, Inc.)

CONTENTS

Chapter 1	Project Overview -----	1
Chapter 2	Research Background -----	7
Chapter 3	Research Scope and Results -----	9
Part 1	Chemical Synthesis of Sex Pheromone Components of the Oriental Fruit Moth (<i>Grapholita molesta</i>) and Their Bioactivity -----	9
Part 2	Attractiveness of Different Sex Pheromone Compositions of the Oriental Fruit Moth (<i>Grapholita molesta</i>) and Field Monitoring -----	16
Part 3	Stereospecific Chemical Synthesis of Sex Pheromone Components of the Oriental Fruit Moth (<i>Grapholita molesta</i>) Using <i>Cis</i> -1,8-dibromo-4-octene -----	24
Part 4	Impaired Antennae of Field-captured Males of the Oriental Fruit Moth (<i>Grapholita molesta</i>) in Apple Orchard and Its Ultrastructural Analysis -	29
Part 5	Efficacy of Commercial Mating Disrupters on Field Overwintering Populations of Oriental Fruit Moth, (<i>Grapholita molesta</i> (Busck) -----	34
Part 6	Efficacy of Commercial Mating Disrupters Against Field Populations of Oriental Fruit Moth, <i>Grapholita molesta</i> (Busck) -----	39
Part 7	Efficacy Test of Mating Disruptors Using Food Trap of Oriental Fruit Moth, <i>Grapholita molesta</i> (Busck) -----	44
Part 8	DNA Markers Applicable for Identification of Two Internal Apple Feeders, <i>Grapholita molesta</i> and <i>Carposina sasakii</i> -----	51
Part 9	Comparative Analysis to Damage Reduction of Host Plant by Applying a Mating Disruptor of the Oriental Fruit Moth, <i>Grapholita molesta</i> , in Two Different Cultivation Environments of Apple Orchard -----	58
Part 10	Wax Type Pheromone Dispenser for Application on Mating Disruption of the Oriental Fruit Moth, <i>Grapholita molesta</i> -----	65
Part 11	Field Technique to Apply Mating Disruptors Against the Oriental Fruit Moth, <i>Grapholita molesta</i> -----	76
Chapter 4	Achievement and Contribution to Insect Pheromone Industry -----	93
Chapter 5	Research Outcomes and Applications -----	95
Chapter 6	Research Environment Related with Mating Disruption Technology ---	97
Chapter 7	References -----	99
Chapter 8	Newspaper reports of Oriental fruit moth -----	105

목 차

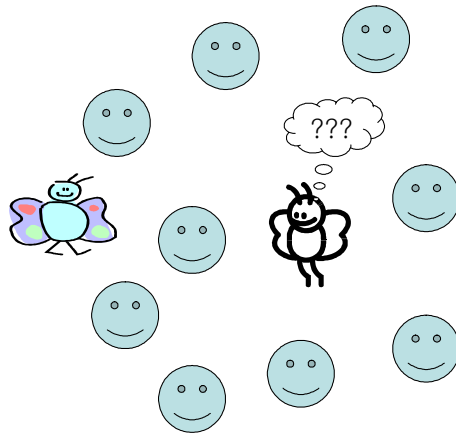
제 1 장	연구개발과제의 개요 -----	1
제 2 장	국내외 기술개발 현황 -----	7
제 3 장	연구개발수행 내용 및 결과 -----	9
제1절	복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>)의 성페로몬 합성과 유인력 생물검정 -----	9
제2절	복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>)의 합성 성페로몬 조성별 유인력 생물검정 및 야외 개체군 모니터링 -----	16
제3절	<i>Cis</i> -1,8-dibromo-4-octene을 이용한 복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>) 성페로몬의 입체 특이적 합성 -----	24
제4절	사과원 발생 복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>) 수컷 촉각구조 결실과 미세구조 분석 -----	29
제5절	야외 월동세대 복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i> (Busck))에 대한 교미교란제 제형에 따른 처리 효과 -----	34
제6절	야외 증식세대 복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i> (Busck))에 대한 교미교란제 제형에 따른 처리 효과 -----	39
제7절	암컷 유인 트랩을 이용한 복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i> (Busck))의 교미교란제 효과 분석 -----	44
제8절	두 종의 사과 심식나방류[복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>), 복숭아심식나방(<i>Carposina sasakii</i>)] 진단용 DNA 분자지표 -----	51
제9절	재배환경이 상이한 두 사과 과원의 복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>) 집단에 대한 교미교란제 처리와 이에 따른 기주 피해 억제 효과 비교 -----	58
제10절	복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>) 교미교란 처리를 위한 왁스형 페로몬방출기 및 적용 기술 개발 -----	65
제11절	복숭아순나방(<i>Grapholita molesta</i>) 교미교란제의 야외 적용 기술 -----	76
제 4 장	목표달성도 및 관련분야에의 기여도 -----	93
제 5 장	연구개발 성과 및 성과활용 계획 -----	95
제 6 장	연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 -----	97
제 7 장	참고문헌 -----	99
제 8 장	복숭아순나방 보도자료 -----	105

제 1 장 연구개발과제의 개요

생물상호작용화합물(semiochemicals)은 개체간 행동유기물질로서 페로몬을 비롯한, 카이로몬, 알로몬 및 시노몬을 포함한다. 이 가운데 페로몬과 카이로몬이 농업 해충 방제로 응용되고 있다. 특히 페로몬은 동종간에 교신물질로서 성페로몬을 중심으로 야외 해충 개체군의 집단변동(monitring)을 고감도로 정확하게 탐지하여 IPM의 중요한 요소로서 역할을 담당하고 있다. 즉, 성유인물질에 의한 수컷 집단의 변동을 시기적으로 모니터링하여 집단의 변동을 시계열로 파악이 가능하고, 생태학적 집단변동 모델과 어울려 해당 해충 개체군의 변동을 예측하여 방제 적기를 결정하게 한다. 또한 페로몬 트랩에 일정 농도의 살충제를 첨가하여 특정 해충 개체군의 농약 저항성을 파악하게도 한다. 이를 통해 시기적으로 약제의 종류 및 농도를 합리적으로 결정하여 무리한 화학농약 남용을 방지하게 한다.

환경친화형 농업의 요구가 커지면서 성페로몬의 이론적 배경을 바탕으로 최근 페로몬을 이용하여 직접 해충 방제에 적용하려는 노력이 커지고 있고, 이는 산업적 단계로 발전하였다. 유럽과 미국을 중심으로 페로몬의 해충방제 억제 노력이 대량유살(mass trapping)과 교미교란(mating disruption)으로 나타났다. Knippling (1979)의 방사 불임 이론을 비추어 대량유살이 해충방제에 효과를 나타내기 위해서는 매 세대 95%의 야외 수컷집단이 유살되어야 한다. 이를 위해서는 잎말이나방류의 경우 야외 처녀 암컷 숫자에 5배의 유살트랩이 설치되어야 이뤄진다고 추산되었다(Roelof et al., 1970). 즉, 야외 집단의 크기가 낮을 때 바로 이러한 대량유살 또는 교미교란의 효과가 극대화된다는 것을 의미한다.

반면 교미교란은 크게 두 가지의 원리로 대상 해충의 성공적 교미를 방해한다. 첫번째로는 여러 미끼를 야외에 방사시키는 꼴이 되어 야외 암컷이 정확히 암컷을 찾아가지 못하게 한다("False trail" 효과). 두번째로는 상시적으로 인공 성페로몬에 노출된 암컷에게 감각둔화 또는 습관화에 이르게 하여 야외 암컷의 성페로몬에 반응하지 않게 된다("sensory overload" 효과).



일반 나비목 곤충의 경우 교미 적기를 잃어버린 암컷이나 수컷은 이후 적령기 이후에는 교미능력이 현저히 떨어진다는 점에서 교미교란의 효과는 극대화될 수 있다. 교미교란은 교미가 일회성으로 이뤄지는 중복 없는 세대를 가지고 있는 곤충에 대해서 효과적이다. 또한 이들 곤충이 비교적 낮은 생식력과 소량의 페로몬을 방출하고, 이동능력이 낮으면 교미교란의 효과를 더욱 높일 수 있다.

○ 사과재배에 경제적 피해를 주는 해충상 변동

국내 사과 재배에 피해를 주고 있는 나방류는 크게, 심식나방, 순나방, 잎말이나방 그리고 굴나방으로 대별할 수 있다. 이중 직접 과실에 피해를 주고 있는 심식나방과 순나방은 주요 방제의 대상이 되어 왔다. 즉, 사과의 과실을 가해하는 대표적인 종은 복숭아심식나방과 복숭아순나방이며, 1990년대까지는 복숭아심식나방이 우점종이었으나, 2000년대로 접어들면서 복숭아심식나방에 비해 복숭아순나방이

관행사과원에서 더 문제시되고 있다. 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)은 아시아가 원산으로 아메리카, 유럽 및 호주 등 전 세계에 분포하고 있는 과수의 주요 해충이다. 이 해충은 노숙 유충 상태로 나무 조피 틈에서 월동하고, 성장하는 유충은 복숭아, 사과, 배, 매실, 모과, 벚, 앵두, 살구나무 등의 기주 신초나 과실을 가해하게 된다. 우리나라에는 오래 전부터 과수의 주요한 해충으로 기록되었으나, 최근 얼마 전까지만 해도 그 피해의 심각성이 부각되지 않았다. 그러나 나주 지역의 배 과수원을 비롯하여 경북 사과 및 복숭아 재배 지역에서 약제 살포 횟수가 낮아지거나, 방제 적기를 놓치게 되면 과실피해가 심각하게 이르게 되었다.

국내 사과원 해충 발생 변동을 살펴보면 1992년부터 사과시험장에서 사과 주산단지 관행사과원을 대상으로 주요 해충의 발생상황을 조사한 결과는 아래 표1, 2와 같다. 응애류는 과거 대부분의 사과원에서 문제되던 점박이응애는 초생재배를 하면서 저농약 방제체계로 운영되는 농가를 위주로 점차 발생 밀도가 줄어드는 반면, 사과응애가 최근 우점종으로 바뀌어 가면서, 일부 농가에서 문제되는 경향이다. 사과혹진딧물은 개화전 방제를 소홀히 한 일부 사과원에서만 발생이 확인된다. 그러나 사과혹진딧물은 개화전 방제를 소홀히 할 경우 과실에까지 피해를 주므로 유의하여야 한다. 조팝나무진딧물도 사과나무의 수세 안정에 따라 발생과원율과 발생밀도가 낮아지는 경향이지만 해에 따라 다소 차이를 보인다. 과실을 가해하는 심식나방류와 잎말이나방류의 발생을 볼 때, 피해과율은 평균 1% 내외로 낮았으나 연속강우와 강우량이 많았던 1998년과 2003년에는 2~3%로 높았다. 특히, 90년대까지는 복숭아심식나방이 과실의 주요 해충이었으나, 2000년도에 들어서면 복숭아순나방의 피해가 증가하였다(표 3). 일부 사과원에서 복숭아순나방 피해가 10%를 넘는 농가도 적지 않았으므로, 이 해충에 대한 지역별, 작목반별 효율적인 공동방제를 철저히 하여야 한다. 은무늬굴나방은 '90년대 후반까지는 발생과원율이 확대되면서 피해가 문제되었으나, 2000년대에는 사과굴나방과 마찬가지로 발생이 크게 문제되지 않고 있다. 최근에는 이들 주요해충 외에도 2-5년생의 수세가 약한 밀식재배 사과나무에 나무줄 피해, 초생재배와 주변 식생의 변화에 따라 개화기 신초와 수확기에 과실의 즙액을 빨아먹는 노린재류의 피해, 강우가 많았던 2003년 수확기에 산지를 중심으로 과실의 즙액을 빨아먹는 흡수나방에 의한 과실 피해 등은 기상상황에 따라서 다발생하는 경우가 있다. 또한, 일부 유기합성농약을 사용하지 않거나 크게 줄이는 사과원에서 사과면충과 하늘소류, 봉지찍은 사과의 과실에 집게벌레 및 특수한 지역에서 주간부에 사과유리나방 등의 발생도 문제되었다. 이와 같은 해충의 발생양상과 피해의 변동에 대해서 시험장은 지속적인 관찰과 대책마련을 강구하고 있다.

(표 1) 연도별 사과 주요해충의 발생과원율

해 충 명	발생과원율(%)								
	'92	'94	'96	'98	'00	'02	'03	'04	'05
사과응애	85	64	33	26	75	69	50	47	46
점박이응애	90	88	80	79	75	56	31	44	50
사과혹진딧물	5	32	3	24	8	6	6	10	38
조팝나무진딧물	100	100	100	100	100	84	69	82	100
심식나방류	5	32	50	67	32	50	64	63	56
잎말이나방류	30	24	67	76	8	25	70	44	19
은무늬굴나방	10	72	100	100	88	69	88	77	69
사과굴나방	95	96	86	88	53	69	50	19	54

- * 경북 5~6지역 20~30개 사과원의 후지품종에서 조사
- * 진딧물은 40신초당 마리수, 응애는 100엽당 마리수, 굴나방은 40신초당 피해엽수, 잎말이나방과 심식나방은 피해과율(%)임

(표 2) 연도별 사과 주요해충의 발생 및 피해정도

해충명	발생 및 피해정도*								
	'92	'94	'96	'98	'00	'02	'03	'04	'05
사과응애	151	13	32	96	193	62	209	26	45
점박이응애	182	134	79	160	150	217	157	101	119
사과혹진딧물	0.1	2.5	0.5	0.7	0.1	0.6	0.1	0.2	0.9
조팝나무진딧물	793	886	919	337	544	341	180	491	289
심식나방류	0.05	0.1	0.3	3.1	0.1	0.1	2.1	0.5	1.5
잎말이나방류	0.2	0.1	0.9	3.0	0.01	0.03	0.7	0.1	0.7
은무늬굴나방	0.4	9.8	2.1	4.9	8.5	3.9	2.9	1.2	58
사과굴나방	10.1	3.0	1.7	0.5	9.7	3.8	4.4	0.3	2.9

* 경북 5~6지역 20~30개 사과원의 후지품종에서 조사

* 진딧물은 40신초당 마리수, 응애는 100엽당 마리수, 굴나방은 40신초당 피해엽수, 잎말이나방과 심식나방은 피해과율(%)임.

(표 3) 연도별 복숭아심식나방 및 복숭아순나방의 과실 피해정도

해충명	발생과원율(%)						피해정도(%)					
	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'00	'01	'02	'03	'04	'05
복숭아심식나방	3	0	17	44	25	31	0.06	0.40	0.03	0.30	0.11	0.11
복숭아순나방	3	37	58	63	63	56	0.07	0.40	0.09	1.80	0.39	1.38

사과의 전년(2005년) 생산량이 35만톤이었으니, 피해가 많았던 해(2003년)의 관행사과원에서 복숭아순나방 피해율이 약 2%였으므로, 약 7,000톤의 피해이며, 7,000톤의 금액은 작년 기준으로 하면 대략 140억원의 피해금액이 산출된다.

○ 교미교란 해충방제 전략의 필요성

살충제의 방제효과는 해충이 약제방제에 가장 약한 발육시기에 치사량을 살포하여 충체에 접촉하거나 소화중독 또는 일부 침투작용을 통해 나타난다. 대부분의 나방류는 알이나 1령 유충기가 이에 해당되는데, 비티제와 같은 생물농약은 더욱 적기방제가 중요하다. 따라서, 방제의 성공여부는 현장 조사 또는 성페로몬트랩을 이용한 나방류 발생 실태를 조사하여 알 또는 부화시기를 잘 파악하는데 있다. 과실을 가해하는 심식충류는 알에서 부화 직후 유충이 과실 속으로 들어가므로 방제 적기의 폭이 아주 좁아서 실패할 위험성이 높으므로 발생 기간 중 살충제를 정기적으로 과다 살포한다.

또한, 현재 가장 널리 사용하는 유기합성 살충제(유기인계, 카바메이트계, 합성제충국제)는 광범위 살충작용이 있어 목표 해충뿐 아니라 중요한 천적 등 익충도 무차별하게 죽이게 된다. 그러나 얼마 후 목표 해충이 살충제에 저항성을 갖게 되어 방제효과가 낮아지면, 천적이 전혀 없기 때문에 이들 해충의 밀도가 급격히 증가하는 문제점이 나타난다.

이런 문제점을 극복하기 위하여 새로운 살충제를 개발하지만, 몇 년 안가서 똑같은 과정이 지금까지 30여년 이상 반복되고 있다. 최근에는 친환경농업의 확산과 좀더 농약에 안전하고 고품질의 농산물이 요구되고 있는 실정이다. 더욱이, 1999년에 미국에서는 식품품질보호법(FQPA)이 발효되어 기존 관행

살충제에 대한 재등록이 실시됨으로서 지금까지 사용하던 유기인계 살충제 사용이 극히 제한될 위기에 처해있고, 또한 새로운 광범위 살충제 등록이 어렵게 되어있다. 우리나라도 점차 기존 광범위 유기합성 살충제 사용과 새로운 살충제 등록에 많은 제약을 받을 전망이다.

이에, 성페로몬을 이용한 교미교란 방제는 문제해충의 방제를 가능케 할 뿐만 아니라 상기와 같은 살충제의 생태계 파괴적인 악순환 고리를 차단할 수 있는 새로운 개념의 해충 방제 대책으로 급부상 되고 있다. 특히, 친환경 농업으로 추진하고 있는 병해충 종합관리(IPM)와 과실종합생산(IFP) 체계에 있어서, 성페로몬 교미교란 방제는 농약을 획기적으로 절감하고 응애류의 생물적방제를 가능케 하는 핵심기술로 이용되고 있다. 미국, 캐나다, 유럽연합, 호주, 뉴질랜드는 물론 일본에서도 성페로몬이 과수의 심식나방류와 잎말이나방류의 방제제로 등록되어 사용되고 있다. 우리나라도 사과와 나방류 6종에 대한 발생예찰용 성페로몬이 실용화 되고 있으므로, 이들을 교미교란 방제용으로 하루 빨리 이용해야 한다.

페로몬 교미교란 방제는 지금까지 10년 이상을 동일 포장에서 계속 사용할 때에도 해충의 저항성 문제가 발생하지 않고 있으며 지속적으로 방제효과를 나타내고 있다. 또한, 성페로몬 방출기를 나무에 매 다는 작업은 아주 단순하고 시간이 많이 소요되지 않는다.

※ 성페로몬과 유기합성 살충제의 장단점 비교

구 분	성페로몬	유기합성 살충제
독성	독성 없음	대부분 독성 높음
분해·잔류	쉽게 분해 됨, 잔류 문제 없음	서서히 분해되므로, 안전사용 기준 준수
선택성	목표 종에만 영향을 줌 천적, 익충에 영향 없음 생태계 균형 유지	여러 종에 영향이 큼 천적, 익충도 죽여서 2차해충 (응애류) 다발생 문제 야기
저항성	저항성 유발 사례 없음	저항성 유발. 합성제중국제는 3-5년 이내에 효과 저하
처리 시기	나방 발생전 예방적 사용 약해 전혀 없음	적기 살포가 매우 중요 처리 시기에 따라 약해 발생
처리 면적	대면적 일수록 효과적	면적크기에 구애받지 않음
비용·사용량	합성비용 고가, 소량 사용	생산비용 저렴, 다량 필요
사용 농민	교육 필요	대부분 사용 경험 있음

특히, 성페로몬은 사람에게 전혀 영향이 없으므로 언제라도 과수원 작업이 가능하지만, 유기합성 살충제는 영향이 크므로 살포후 일정기간 과수원 작업을 해서는 안된다. 예로, 미국에서는 코드링나방 방제를 위하여 낙화후 유기인계를 18일 간격으로 살포할 경우 과수원에서 작업을 할 수 있는 날이 제한되어 5-6월에 적과작업을 효율적으로 수행할 수 없는 문제가 심각하다.

○ 기타 교미교란 기술 적용에 고려되는 사항

외국의 경우 복숭아순나방은 많은 과수재배 지역에서 관건해충으로 취급하여 약제 방제 또는 페로몬 트랩을 이용한 예찰 방제가 실시되고 있다. 특별히 성페로몬을 이용한 다양한 교미교란 방제법이 개발되어 왔다(Cardé and Minks, 1995). 교미교란에 의한 해충 방제는 화학농약의 사용을 절감시켜 사과 과실의 약제 잔류량을 낮추며, 자연계 천적을 보호하여 환경친화적 방제법으로 큰 장점을 지니게 된다. 특별히 복숭아순나방의 피해가 사과 수확 무렵에 다 달아서 일어날 경우 화학약제 방제 이외의 방제로 개체밀도를 억제하는 대체 수단이 필요하다.

효과적 교미교란을 실시하기 위해서는 지속적으로 유효한 농도로 페로몬 유효 성분을 방출하는 이상적 페로몬 방출기가 필요하다. 미국과 일본을 중심으로 다양한 페로몬 방출기가 개발되어 왔다. 폴리 에틸렌 재질의 방출기가 개발되었으며(Kirsh, 1988), 가격과 노동력을 절감하려는 차원에서 미량포집형

방출기가 개발되어 일반 약제 분무기를 이용하여 포장에 적용하게 하였다(Casagrande and Jones, 1997).

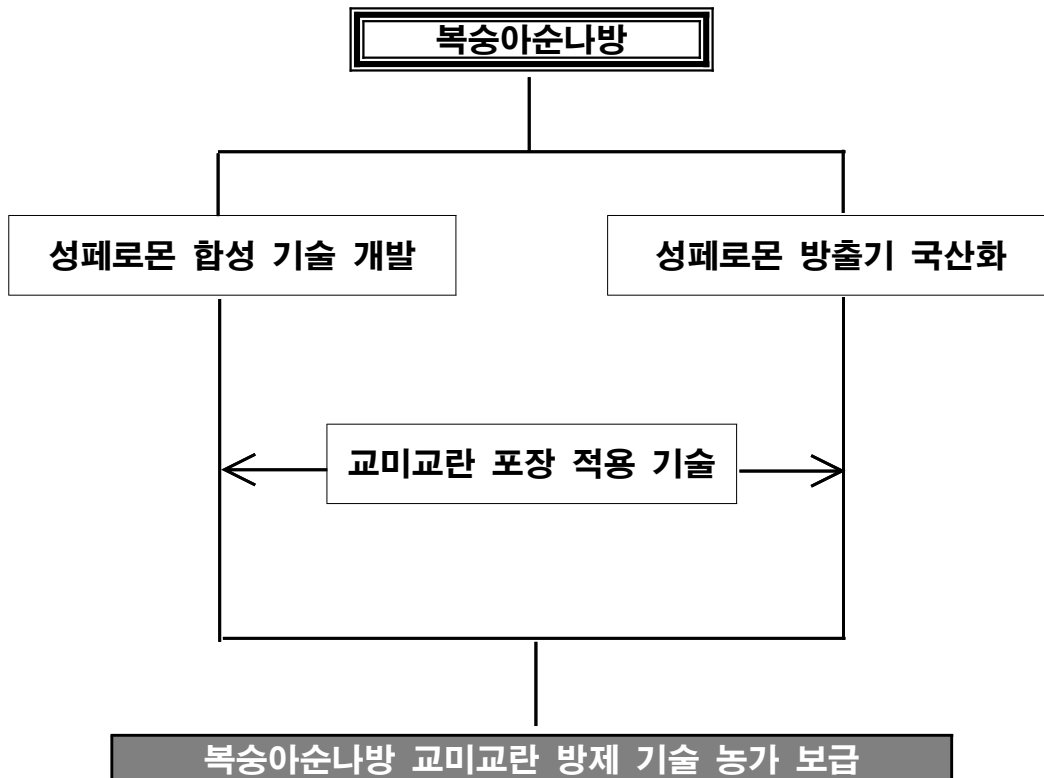
교미교란에 의한 방제는 방제의 대상이 유충이 아니라 성충이기 때문에 피해를 주고 이는 유충 밀도와 직접 연결이 어렵다는 점에서 교미교란에 의한 해충 방제의 효과를 판정하는 평가기법이 필요하다. 이를 위해 직접 피해를 조사로 부터, 트랩유인수 조사 및 암컷 교미율이 분석 대상이 되었다. 궁극적으로 교미교란제의 이상적 야외 방출량의 결정은 야외 존재하는 대상 해충의 성페로몬 양을 측정할 필요가 있다. 이를 위해 화학적 분석, 야외 EAG 또는 야외 single cell recording 등이 권장되고 있다.

◦ 기술적 측면에서 개발 필요성

사과 가해 주요 나방류 해충(사과잎말이나방, 사과애모무늬잎말이나방, 복숭아심식나방, 복숭아순나방, 사과굴나방, 은무늬굴나방) 6종의 성페로몬을 이용한 발생예찰 체계 확립 연구는 성공적으로 진행되어, 과수재배 농가에서의 성페로몬을 이용한 발생예찰은 급속히 확대·정착되었다. 그러나 교미교란 기술 개발에 대해서 미진하여 복숭아순나방의 경우 일본에서 도입하고 있으나, 이마저 효과가 낮아, 선진 외국의 다양한 기술을 조기 도입하여 국내에서 독자적인 개발능력을 배양할 필요가 있다.

◦ 경제적 및 사회적 측면에서 개발 필요성

현재의 경우 외국에서 수입하여 사용하고 있는 교미교란제는 단가가 너무 높아 농민이 모든 경비를 지불하고 사용하기에는 비현실적이다. 국내 성페로몬 원재 합성을 유도하고, 페로몬 방출기를 국산화하면, 수입대체 효과는 물론이고 소비자 단가를 낮추게 하여 친환경농자재의 보급을 가속화시킨다. 또한 복숭아순나방을 대상으로 한 살충제 살포 회수 감소 및 경비의 직접적 경제적 비용 절감은 물론이고 교미교란을 통한 환경친화적 방제 기술 적용으로 고품질, 무공해 사과 생산으로 농가소득 증대를 꾀할 수 있다.



제 2 장 국내외 기술개발 현황

(1) 세계적 수준

개념정립 단계		기업화 단계	√	기술 안정화 단계	
---------	--	--------	---	-----------	--

(2) 국내수준

- 사과 가해 주요 나방류 해충 6종의 성페로몬을 이용한 발생예찰 체계확립 연구는 성공적으로 진행되어(서울대, 2001), 과수재배 농가에서의 성페로몬을 이용한 발생예찰은 급속히 확대·정착됨
- 사과원 외에도 배와 복숭아 과수원도 이들 성페로몬을 이용하여 주요 나방류 해충의 발생상황 파악을 위한 예찰도구로 사용하고 있으며, IFP(Integrated Fruit Production)를 위한 필수 도구로 인식하고 있음
- 복숭아심식나방을 대상으로 한 wire type의 교미교란 실험이 진행되었으나, 방제효과가 다소 부진한 편임
- 사과재배 농가의 교미교란제에 대한 관심은 큰 편이지만, 복숭아심식나방을 대상으로 한 교미교란제는 일본 Shin-Etsu사의 Confuser A와 R을 수입하여 사용하고 있으나, 그 효과가 여러모로 만족스럽지 못함
- 이러한 Confuser 제품들은 여러 해충의 성페로몬이 혼합된 형태라서, 어떤 단일 종이 문제될 경우라도 고가에 구입하여 설치해야 하는 형편임

(3) 국내·외의 연구현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
서울대	사과 가해 주요 나방류 해충 (사과잎말이나방, 사과애모무늬잎말이나방, 복숭아심식나방, 복숭아순나방, 사과굴나방, 은무늬굴나방) 6종의 성페로몬 조성 결정 및 야외 효과 확인	발생예찰 체계확립
일본 산업체	일본은 사과, 배 및 복숭아 과수원에서 주요 나방류 방제법으로 농약 대신 wire type의 교미교란제 실험이 지난 10여 년 간 진행되었고, 현재는 대규모 면적에서 상업적으로 사용하고 있음	산업화
미국/유럽 산업체	유럽, 호주 및 미국 등의 과수원도 코드링나방 및 복숭아순나방 방제를 위하여 wire type, applicator type, spray type 등 여러 형태의 성페로몬 교미교란제를 이용하여 농약 대신 방제하고 있으며, 성공적인 사례를 계속 발표하고 있음	산업화

※ 기존의 복숭아순나방 교미교란제 개발 현황과 산업화 진행상황

성페로몬은 3성분의 복합체((Z)-8-dodecenyl acetate : (E)-8-dodecenyl acetate = 95 : 5 에 (Z)-8-dodecen-1-ol 이 3-10% 함유)이다. 호주와 미국의 시험결과 복숭아순나방은 통신교란에 아주 민감함이 밝혀졌다. 처음에는 두가지 아세테이트 성분만으로 교미교란을 했으나, 후에 보조성분인 알코올을 추가하므로써 교미교란에 필요한 페로몬 양을 절감할 수 있었다.

방출기는 1982-1989년에 프랑스에서 아세테이트 두성분(9:1)을 75mg씩 넣은 폴리에틸렌 튜브와 400-500mg씩을 넣은 중합체 병의 형태로 시판되었다. 교미교란 효과를 얻기 위해서는 1 ha면적에서 1 시간에 20mg이 방출되어야 하였고, 이를 위해서는 1,000개의 방출튜브를 연2회 설치해야 하였다. 반면, 플라스틱 병에 넣은 방출기는 1ha에 500개를 1회 설치하여도 발생기간 동안 방제가 가능하였다. 좀더 낮은 지대인 톤계곡에서 시험한 결과가 더욱 성공적이어서 이후 상업적 개발을 부추기어 스페인, 이탈리아 등으로 확산되었고, 1992년에는 수 천 정보의 면적에 처리되었다.

미국의 캘리포니아와 버지니아주에서는 페로몬 처리로 관행 살충제 살포시와 맞먹는 비용을 들여서 농약과 비슷하거나 또는 더 낮은 정도의 방제효과를 얻었다. 폴리에틸렌 튜브 방출기를 나무높이의 1/3 지점에 1,000개/ha를 설치하였는데 총량은 75g이다. 최초 설치는 봄철 1화기 발생전에 하고, 2차는 90일 후에 설치하여 관행살충제 처리와 같거나 더 우수한 방제효과를 거두었다. 복숭아와 천도복숭아에서 1987년 600ha가 페로몬을 사용하였고, 1990년에는 4,000ha로 증가되었다. 중국(1988)과 브라질(1989)에서도 비슷한 사례가 있다.

가장 상업적 성공을 거둔 나라는 호주이다. 초기에 Vickers 등(1985)은 50ml의 유인제(아세테이트 + 알코올 3.8%)를 400ml의 원심분리기용 튜브에 넣어서 사용하였다. 이들을 1나무에 4개씩 설치하여 1시간에 1ha에서 5mg씩이 방출되도록 하였다. 3년간 25-40ha 규모의 시험결과, 교미교란 방제가 관행살충제와 비교하여 비용과 효과가 비슷하였다. 이로인해 호주의 뉴사우스웨일즈와 빅토리아주에서 10,000ha 이상의 면적으로 확대되었다. 그러나, 일부 다른 지역에서는 효과가 저조하였는데, 이유는 복숭아순나방의 발생기간이 7개월로서 6세대가 발생하는데 이 기간 내내 충분한 양이 방출되지 않기 때문이라 하였다.

남아프리카에는 복숭아순나방이 최근 침입한 해충인데, 전년도에 피해가 많았던 1,200ha의 핵과류에 1991-1992년에 로프형 제품을 처리하여, 단1개의 피해도 없을 정도로 효과가 좋았다. 2년동안 교미교란제 사용으로 대부분의 유기인제 살충제 저항성 개체군의 발생을 해결할 수 있었다. 이들 시험은 교미교란이 관행살충제와 거의 같거나 보다 우수한 방제효과를 보인다는 것을 입증하였다.

제 3 장 연구 개발 수행 내용 및 결과

제1절 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 성페로몬 합성과 유인력 생물검정

1. 서론

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 하나로써 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.

2. 재료 및 방법

2.1. 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 **3**을 1-pentyne 과 결합시켜 C8에 삼중결합을 도입한 화합물 **4**를 만든 후, -20℃에서 Pd 촉매로 수소화하여 *cis* 화합물 **5**를 얻었다. 이후 보호기를 제거하여 *cis*-6-dodecen-1-ol (**6**)을 얻었고 (Fig. 2A), 이를 아세틸화하여 최종산

물인 8-dodecen-1-yl acetate (7)를 얻었다 (Fig. 2B). 이 최종산물의 입체이성질체(*cis*: *trans*) 비율은 92: 8이었으며, 6단계 전 합성수율은 58%였다.

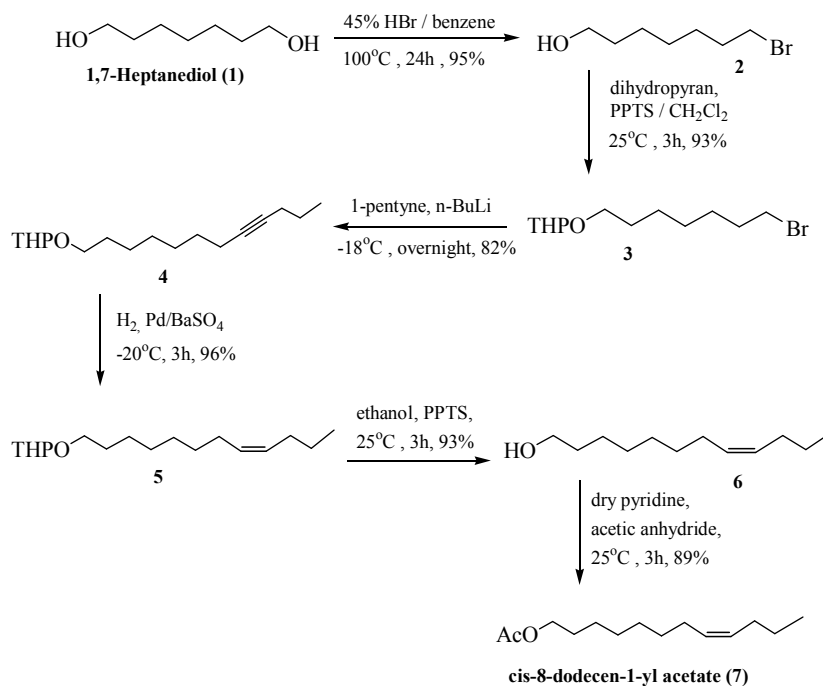


Fig. 1. Chemical synthesis process of three pheromone components of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*. 1: 1,7-heptanediol, 2: 7-bromoheptan-1-ol, 3: 7-bromoheptan-1-ol tetrahydropyranyl ether, 4: 8-dodecyn-1-ol tetrahydropyranyl ether, 5: *cis*-8-dodecen-1-ol tetrahydropyranyl ether, 6: *cis*-8-dodecen-1-ol,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

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

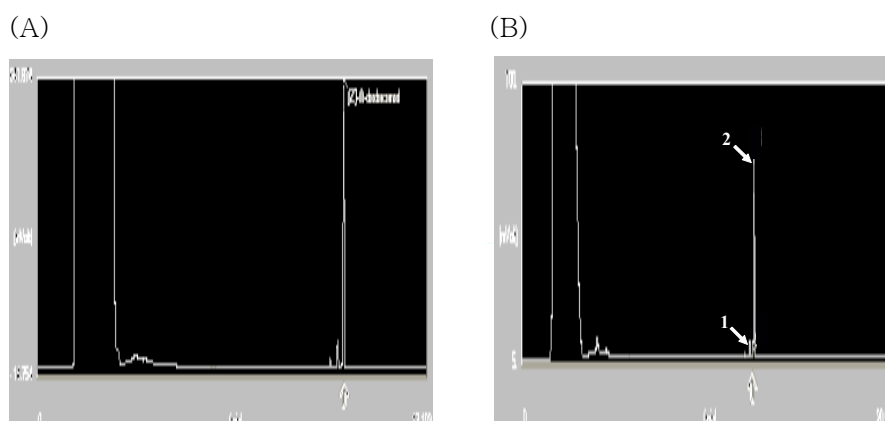


Fig. 2. Gas chromatograms of three synthesized pheromone compounds: (A) *cis*-8-dodecen-1-ol at 13.475 min of retention time (B) *trans*-8-dodecen-1-yl acetate (1) at 13.000 min and *cis*-8-dodecen-1-yl acetate (2) at 13.233 min.

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

2.2. 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.

2.3. 수컷반응 생물 검정법

페로몬 효과에 대한 종말점으로 수컷이 보이는 일련의 교미행동 가운데 날개운동을 이용하였다. 생물검정은 투명한 아크릴로 제작된 반응기(60x25x25 cm: 길이x폭x높이)에 수컷을 방사하고, 모두 쉬고 있는 상태에서 분석될 페로몬 방출기를 노출시켰다. 이후 10 분 내에 날개 짓을 하는 모든 개체를 세어 수컷반응으로 결정하였다. 행동시간은 처음 날개 짓을 보인 때를 의미하며, 이를 기준으로 처리별로 10 분 이내에 행동을 보인 개체수를 세었다. 생물검정은 복숭아순나방의 활동시각인 오후 8시부터 11 시까지만 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.

2.4. 실내 유인력교란 생물검정법

유인력교란이 모형상자(23x18x13 cm)를 이용하여 실내에서 분석되었다. 중앙에 상용페로몬이 처리된 페로몬방출기를 끈끈이 판(5x5 cm) 위에 놓고, 주위 네 방향으로 분석될 페로몬을 설치하였다(Fig. 5 참조). 이후 수컷을 방사한 후 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 12 시간(오후 9시-오전 9시) 노출시험으로 진행하였다. 이후, 끈끈이 판에 붙잡힌 수컷을 조사하여 유인력교란 효과를 산출하였다. 각 처리는 10-15 마리의 수컷이 이용되었다.

2.5. 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.

3. 결 과

3.1. 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 상용페로몬 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.

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 행동 반응을 보이는 것으로 나타났다.

3.2. 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 이보다 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, 실내 분석의 결과와 유사하게 아세테이트류에서 가장 많은 포획밀도를 보였고, 다른 조성에서는 유인 효과는 있었지만, 비교적 낮은 포획밀도를 나타냈다.

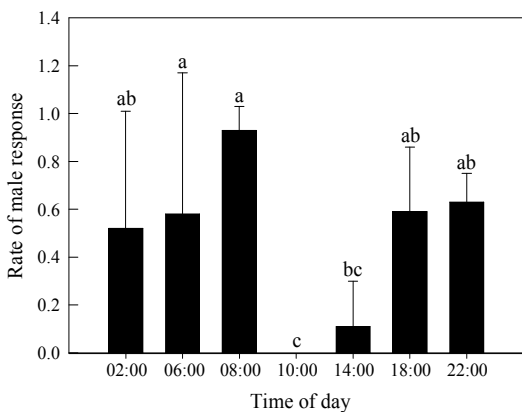


Fig. 3. Diel rhythm of male responses of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, to a commercial sex pheromone. The male response was determined by wing movement in response to the lure within 10 min. Each measurement consisted of 10-15 males and was replicated three times. Different letters above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

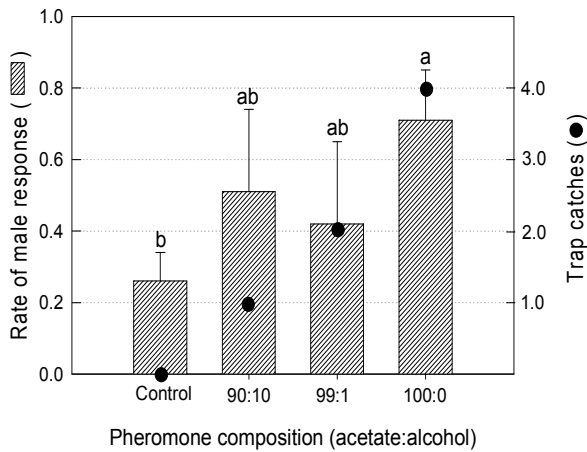


Fig. 4. Effect of pheromone composition on male response in laboratory (bar) or on field male catch (black circle). Each acetate or alcohol component contained a mixture of *cis* and *trans* dodecanyl acetates or alcohols in 92:8 ratio. The male response was determined by wing movement in response to 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).

3.3. 실내 유인력교란효과

실내 유인력교란효과는 일정 사육용기에서 상용페로몬을 유인의 중심으로 설정하고, 이 유인페로몬 주변으로 검정할 합성페로몬을 배치하면서 수컷의 유인력 교란을 분석하도록 구상되었다(Fig. 5). 가운데 유인페로몬 주변으로 무처리 방출기를 배치할 경우 2시간이내에(관찰 최단시간) 모든 수컷이 페로몬 주변으로 몰려들어 끈끈이 판에 부착되어 있는 것을 관찰하였다. 그러나, 주변에 합성페로몬 또는 상용 페로몬을 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.



Control



Treatment

Treatment	Array of candidates				# test males	# caught	Efficacy (%) of orientation	X^2 (df = 1)	P
	N	E	W	S					
Control	X	X	X	X	10	10	0.0	-	-
	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
Synthetic	O	X	X	X	10	10	0.0	0.00	1.000
	O	O	O	O	10	0	100.0	20.00	<0.0001

Fig. 5. Demonstration of orientation disruption in cage (23x18x13cm). The center consists of a commercial lure (Green Agro Tech, Inc., Kyungsan, Korea) on sticky plate (5x5cm). 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°C 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.

4. 고찰

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 접목하는데 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, 털몽치세우기, 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 향시 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. 수컷 감각기의 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 페로몬 성분이 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 제시함으로써 이 복숭아순나방 교미교란제의 적용확대를 위한 제반 연구로서 의미를 갖게 되었다.

5. 결론

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/BaSO₄로 -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 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 줄어들어 따라 유인력교란효과는 낮아지는 현상을 나타냈다. 이상의 결과는 복숭아순나방의 합성페로몬이 생물적 활성을 지니며, 교미교란에 이용될 수 있음을 제시하고 있다.

제2절 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 합성 성페로몬 조성별 유인력 생물검정 및 야외 개체군 모니터링

1. 서론

복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))은 중국 서북지역에서 유래되어 현재는 아시아, 유럽, 아메리카, 북부 아프리카, 중동, 뉴질랜드와 호주의 핵과 과실에 피해를 주고 있으며(Roehrlich, 1961; Rothschild and Vickers, 1991), 복숭아는 물론이고 산업적으로 중요한 과수인 사과와 배를 가해하는 주요 나비목 해충이다(Ahn *et al.*, 1985; Yang *et al.*, 2001). 특별히 신초와 과실을 직접 가해함으로써 해충 피해가 직접 경제적 손실로 연결된다는 점에서 방제의 의의를 갖게 하고 있다. 그러나 여러 심식류에서 알 수 있듯이 일단 과실 속으로 가해가 진행된다면, 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).

일반적으로 효과적 야외 해충 방제를 위해 이들 해충이 특정 지역에서 발생시기를 정확히 모니터링하는 것이 필수적이다(Pedigo, 1991). 특별히 과실 표면에 산란된 알이 부화하여 과실속으로 들어가면 약제와의 접촉이 어렵기 때문에, 약제 살포시기에 따라 방제 효율이 변동될 수 있다(Tanaka and Yabuki, 1978; Rice *et al.*, 1984). 복숭아순나방의 연중 발생 피크를 살펴보면 월동세대의 50% 우화 시기인 4월 중순에서 5월 상순 동안의 초기 발생 피크 이후 연중 3-4세대 발생주기를 보인다(Kim *et al.*, 2004). 그러나 발생시기와 발생 피크 수는 지역마다 다르게 나타날 수 있고, 또한 동일 지역이라 하더라도 주변 환경 및 과원 관리에 따라 변동될 수 있다. 여기에 발생량도 변동될 수 있어, 월동세대의 경우 전년도 작물의 품종에 따라 수확기의 차이를 유도하고 이에 따라 후기 복숭아순나방 발생밀도 변화를 초래하는 데, 비교적 만생종에서 월동 유충 밀도 및 차년도 성충발생이 높았다(Yang *et al.*, 2001).

복숭아순나방의 세 가지 주요 성페로몬 성분(Z14Ac, E14Ac, Z14OH) 밝혀지면서(George, 1965; Cardé *et al.*, 1979) 이 해충의 모니터링 뿐만 아니라 방제 기술의 하나로써 교미교란이 제안되었고, 포장에서 집중적으로 현장 검증이 이루어졌다. 다량의 합성페로몬을 처리하는 경우 암컷의 탐색 능력을 저하되어 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, 여러 풍동 행동 반응 연구들은 교미교란제의 페로몬 성분 유출속도를 암컷이 분비하는 속도와 유사하게 맞춰주는 경우에 수컷의 암컷 탐색 능력을 뚜렷이 저하시키는 것을 확인시켜 주었다(Sanders and Lucuik, 1996; Valeur and Löfstedt, 1996). 특별히 복숭아순나방 수컷의 경우 성페로몬에 반응하여 암컷으로 유인되기 위해서는 촉각에 분포하는 페로몬 화학감각모가 최소한 1,330개 이상이 요구된다는 것이 밝혀졌다(Bae *et al.*, 2006). 성페로몬 이외에 섭식유인제를 이용한 먹이트랩이 이용되고 있으며, 이 트랩에는 암컷도 유인되어 대상 지역의 암컷의 교미율을 판정하는 유효한 기술로 여겨지고 있다(Kim *et al.*, 2007).

국내에서도 복숭아순나방 집단에 효과적 페로몬 조성이 밝혀지고(Boo, 1998), 화학합성기술이 개발되었다(Kim *et al.*, 2006). 또한 복숭아순나방 성페로몬을 이용한 야외 집단의 모니터링(Yang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2004)이 농가에 보급되고 있으며 교미교란(Yang *et al.*, 2003)에 의한 방제 기술 개발이 시도되고 있다. 또한 상품화된 교미교란제를 이용하여 월동세대에 대한 효과적 교미교란 및 피해 억제 가능성을 보였다(Jung *et al.*, 2006). 그러나 모니터링을 위한 성분 뿐만 아니라 교미교란제의 성페로몬 조성에 있어서 제품들 사이에 차이를 보였으며(특히 Z14Ac 성분), 이러한 차이는 효능의 차이로 연결되었다(Jung *et al.*, 2007). 본 연구는 상이한 Z14Ac 성분의 조성에 따라 페로몬 유인력 차이를 규명하였다. 이를 위해 기술적으로는 100% Z14Ac 이성체 성분을 합성하는 기술을 이용하였다.

또한 더불어 방출기에 투입되는 페로몬 전체성분량, 잔효기간 및 트랩의 구조와 설치 위치의 모니터링 변동 요인들을 함께 분석하였고, 이러한 결과를 통한 이상적 조합을 통해 화학농약이 투입되는 실제 사과 과원을 대상으로 연중 모니터링을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 복숭아순나방 성페로몬 합성 및 생물검정 시료 조제

복숭아순나방 페로몬 합성은 Kim *et al.* (2007)의 방법을 따랐다. 간략하게 기술하면, 1,7-Heptanediol을 HBr로 단일 브롬화시킨 후, 남은 수산기를 dihydropyran (DHP)으로 보호하였다. 결과물을 1-pentyne과 결합시켜 C8에 삼중결합을 도입한 화합물을 만든 후, -20°C에서 Pd 촉매로 수소화하여 *cis* 화합물을 얻었다. 이후 보호기를 제거하여 *cis*-8-dodecen-1-ol을 얻었고, 이를 아세틸화하여 최종산물인 *cis*-8-dodecen-1-yl acetate를 얻었다. 합성된 페로몬 성분의 가스크로마토그래피 분석은 Focus GC (Thermo Electron co. Milan, Italy)와 DB-25 column (30 m x 0.250 mm, Agilent Technologies, Inc. Palo Alto, CA, USA)을 이용하여 오븐 온도 125°C, 흐름속도 1.0 ml/min, 주입시료량 2 μ l로 분석되었다. 합성된 페로몬 성분의 생물활성을 분석하기 위해 페로몬 성분 가운데 아세테이트류 성분과 알코올 성분을 헥산을 이용하여 각각 1 μ g/ μ l 농도로 용해시켰다. 이를 다시 100%, 96%, 94%, 90% *cis* 이성체를 포함한 합성 아세테이트류와 알코올류가 각각 100:1의 중량비율로 혼합한 후 총 투입량에 따라 각 고무방출기(Sigma, MO, USA)에 분무하였다. 후드에서 용매를 휘발시킨 후(약 10분) 페로몬 침적된 방출기를 분석에 이용하였다. 대조구는 헥산만 처리된 고무방출기를 이용하였다.

2.2. 수컷반응 생물 검정법

페로몬 효과에 대한 종말점으로 수컷이 보이는 일련의 교미행동 가운데 날개운동을 이용하였다(Kim *et al.*, 2007). 생물검정은 투명한 아크릴로 제작된 반응기(60x25x25 cm: 길이x폭x높이)에 수컷을 방사하고, 모두 쉬고 있는 상태에서 분석될 페로몬 방출기를 노출시켰다. 이후 10 분 내에 날개 짓을 하는 모든 개체를 세어 수컷반응으로 결정하였다. 행동시간은 처음 날개 짓을 보인 때를 의미하며, 이를 기준으로 처리별로 10 분 이내에 행동을 보인 개체수를 세었다. 생물검정은 복숭아순나방의 활동시간인 오후 8시부터 11시까지만 실시하였다. 각 반복별로 10-15마리의 수컷을 3반복으로 분석하였다.

2.3. 복숭아순나방 야외 모니터링 분석

모니터링 지역은 안동시 송천동 남선면 사과원에 두 지역(서로 약 100 m 정도 떨어져), 안동대학교 앞 사과원(남선면에서 1 km 떨어져), 길안면 사과원(안동대 앞 사과원에서 10 km 떨어져)으로 모두 네 개 장소로 구성되었다. 각 포장에서 트랩 배치는 난괴법 3반복으로 각 이랑이 반복이 되며, 상호 반복은 20 m 간격을 둔 이랑으로 배치하였다. 트랩 종류 분석을 제외하고 모든 트랩 분석은 델타트랩((주)그린아그로텍)을 이용하였다.

2.4. 합성페로몬 조성과 노출기간에 따른 복숭아순나방 모니터링 효과 분석

합성페로몬을 상기에 기술 방법대로 네 종류의 조성을 만들고, 이를 안동시 송천동 남선면 사과원에 난괴법 3반복으로 배치하였다. 조사 기간은 월동세대(4월 17일-6월 2일)와 최종 발육세대(9월 13일-9월 27일)를 대상으로 2회 분석되었다. 노출기간에 따른 지속력 분석은 야외 발육세대를 중심으로 6월 4일부터 10월 5일까지 진행하였다. 이때 96% *cis* 이성체를 포함한 성페로몬을 0.01, 0.1 그리고 1 mg의 세 농도로 각 고무방출기에 투입하였고, 난괴법 3반복으로 포장에 배치했다. 시험 기간 동안 페로몬 교체는 없었으며, 대조구로서 동일한 조성의 성페로몬이 1 mg 들어 있는 방출기를 이용하였으며 설치 3달 이후에 1회 교체했다.

2.5. 성페로몬 트랩 형태와 설치 위치에 따른 복숭아순나방 모니터링 효과 분석

두 가지 성페로몬트랩과 먹이트랩이 비교 분석되었다. 델타형 트랩과 유인구에 원뿔형 함정이 있는 원뿔형 트랩이 성페로몬트랩으로 비교되었다. 먹이트랩은 Kim *et al.* (2007)의 방법으로 조제되었다. 이들 트랩은 사과 수관 부위에 설치되었으며 1주일간(8월 9일-8월 16일) 유인된 수컷 수를 분석하였다. 트랩의 설치는 모두 5 처리를 두었으며 이는 Fig. 4에 모식화 되어있다. 설치에 따른 모니터링 변동은 트랩형태와 동일한 기간에 분석되었다.

2.6. 통계분석

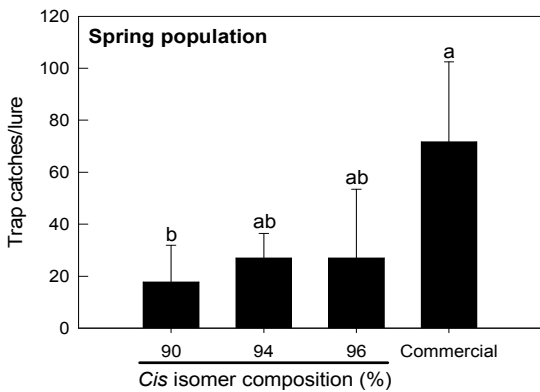
SAS 프로그램(SAS Institute, 1988)의 PROC GLM을 이용하여 two-way ANOVA를 실시하였으며, 최소유의차검정법으로 평균간 차이를 비교하였다.

3. 결 과

3.1. 합성페로몬 조성과 노출기간에 따른 복숭아순나방 모니터링 효율 변화

기존에 복숭아순나방 성페로몬 조성 가운데 주성분인 Z14Ac의 높은 함량이 모니터링 뿐 만 아니라 교미교란 효율이 높이는 데 이상적이라고 가정하여 왔다. 이를 증명하기 위해 우선 유기합성을 통해 100%의 Z14Ac 성분을 유도하였다. 또한 상용화되고 있는 96% 및 합성에 따른 90, 94 및 96%의 서로 다른 함량의 성페로몬을 비교하여 실험하였다(Fig. 1). 합성되어 조제된 모든 성페로몬 조성은 수컷의 날개운동으로 분석되었으며, 실내 생물검정 결과 수컷의 유인 행동 반응을 모두 90% 이상 야기시켰으며 이들 조성간 차이는 보이지 않았다. 월동세대인 4월에서 6월 초까지의 집단을 대상으로 조사한 결과 Z14Ac가 94% 이상 포함된 조성에서 통계적으로 차이가 없는 반면($F = 2.09$; $df = 3, 6$; $P = 0.1064$), 90% 조성에서는 낮은 수컷 유인 능력을 보였다(Fig. 1A). 이러한 경향은 시기가 다른 9월 야외 집단에 대해서 Z14Ac가 100% 포함된 조성을 추가하여 조사하여 본 결과 유사한 경향($F = 3.63$; $df = 3, 6$; $P = 0.0837$)을 나타냈다(Fig. 1B). 평균 유인 능력을 살펴보면, 96% 이상에서 90% 또는 96% 조성에 비해 높은 유인력을 지니는 경향을 볼 수 있다.

(A)



(B)

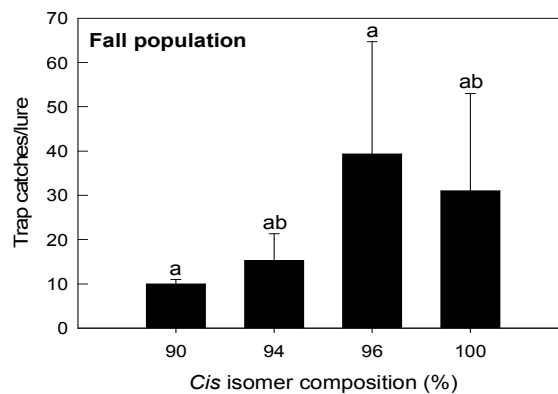


Fig. 1. Effect of pheromone compositions possessing different Z14Ac ('Cis') concentrations on attracting males of *Grapholita molesta* occurring in an apple orchard. Pheromone lures were prepared in different concentrations of Z14Ac: E14Ac: Z14OH (90:10:1, 94:6:1, 96:4:1, 100:0:1, g/g). Field populations were monitored using "Cone" trap possessing rubber septum releaser impregnated with 0.1 mg of each pheromone lure. Commercial lure contained 1 mg of pheromone components of Z14Ac: E14Ac: Z14OH in 96:4:1 (g/g) ratio. (A) 'Spring population' represents monitoring from April 17 to June 2. (B) 'Fall population' represents monitoring from September 13 to September 27. Trap catches represent average numbers \pm SD of three replications. Inset illustrates the trap locations in a tree. Different letters above standard deviations indicate significant differences among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

각 고무방출기에 포함된 성페로몬 주입량에 따른 유인 능력과 잔효기간을 분석하였다(Fig. 2). 이때 성페로몬 조성은 모두 Z14Ac가 96%를 포함하도록 조제했다. 조사된 세 가지 농도와 상용화된 제품(방출기 당 1 mg 성페로몬 함유)을 모두 포함하여 주입량에 따른 유인력 차이는 없는 것으로 나타났다($F = 3.51$; $df = 3, 160$; $P = 0.1642$). 그러나 설치 이후 3개월이 지난 시점에 대조구를 새 방출기로 교체한 경우 수컷 유인 능력이 미묘하게 낮아지고 방치된 세 농도의 방출기에 비해 높았다($F = 3.79$; $df = 3, 40$; $P = 0.0004$).

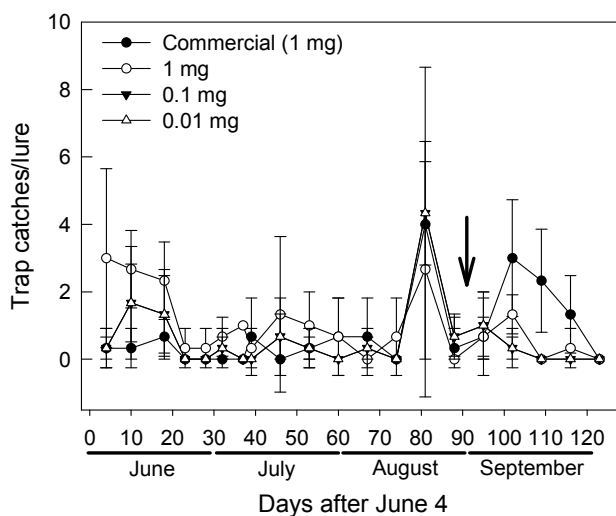


Fig. 2. Effective period of pheromone releaser containing different concentrations of active components to monitor field population of *Grapholita molesta* occurring in Andong apple orchards from June 4 to October 5 in 2007. Pheromone lures were prepared in different concentrations of Z14Ac: E14Ac: Z14OH (90:10:1, 94:6:1, 96:4:1, g/g). Field populations were monitored using "Cone" trap possessing rubber septum releaser impregnated with 0.1 mg of each test pheromone lure. Three test pheromones were not replaced since installation at June 5. Commercial lure contained 1 mg of pheromone components of Z14Ac: E14Ac: Z14OH in 96:4:1 (g/g) ratio, which was replaced one time at August 30 (arrow). Trap catches represent average numbers \pm SD of three replications.

3.2. 성페로몬 트랩 형태와 설치 위치에 따른 복숭아순나방 모니터링 효율 변화

농가에 보급된 복숭아순나방 페로몬 트랩은 본 연구에서 사용한 델타형 트랩이다. 여기에 함정형으로 나방류의 유인구가 원뿔형으로 되어 있으면서 살아있는 나방을 수거할 수 있는 원뿔형 트랩이 비교되었다(Fig. 3). 여기에 암수 모두를 유인할 수 있는 먹이트랩(Kim *et al.*, 2007)이 포함되어 트랩 당 포획 효과를 비교하였다. 비교되는 두 가지 트랩에 비해 델타트랩의 유인효과가 월등하게 높았다($X^2 = 107.05$; $df = 2$; $P < 0.0001$).

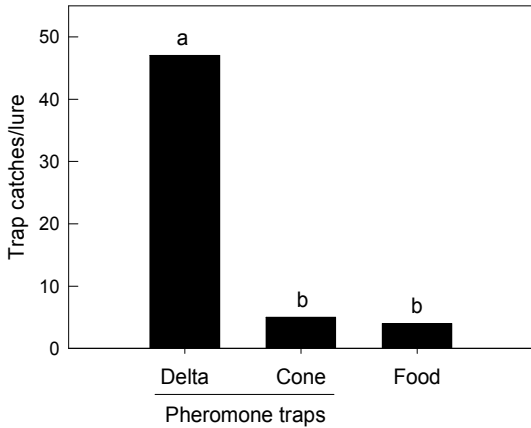


Fig. 3. Effect of trap types on attracting males of *Grapholita molesta* occurring in an apple orchard for 10 days. Field populations were monitored using two pheromone traps, each of which possessed a pheromone lure (1 mg per rubber septum) containing Z14Ac: E14Ac: Z14OH (96:4:1, g/g). Food trap used terpinyl acetate as a lure. Trap catches represent average numbers \pm SD of three replications. Different letters indicate significant differences among means at Type I error = 0.05 (X^2 test).

성페로몬 트랩의 설치 위치가 비교되었다(Fig. 4). 사과 수형을 보면 페로몬 활성영역을 포함하는 연무가 멀리 보내기 위해서는 수관부(Fig. 4의 B, C 부위)에서 방출할 경우 인근의 수관부의 잎과 가지에 의해 페로몬 이동에 장애가 된다. 그러나 수관부의 정상부위(Fig. 4의 A 부위)나 수간(Fig. 4의 D 부위)이나 지면(Fig. 4의 E 부위)에서 방출할 경우 장애물 없이 멀리 날아 갈 수 있다는 장점이 있어 보다 많은 수컷에게 영향을 미칠 수 있다는 의미이다. 그러나 포장에서 이들 위치에 트랩을 설치하고 조사하여 본 결과 수간이나 지면보다는 수관부에 설치한 트랩에서 높은 유인력을 보인다고 나타났다($F = 3.24$; $df = 4, 13$; $P = 0.0660$). 특별히 인근 나무 끼리 이어지는 가장 자리에 트랩을 설치할 경우 가장 높은 유인효과를 나타냈다.

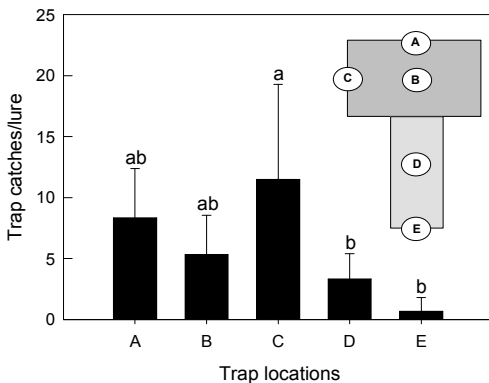


Fig. 4. Effect of trap location in height on attracting males of *Grapholita molesta* occurring in an apple orchard for 10 days. Field populations were monitored using "Delta" trap possessing a pheromone lure (1 mg per rubber septum) containing Z14Ac: E14Ac: Z14OH (96:4:1, g/g). Trap catches represent average numbers \pm SD of three replications. Inset illustrates the trap locations in a tree. Different letters above standard deviations indicate significant differences among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

3.3. 관행방제가 이뤄지는 사과원에서 발생하는 복숭아순나방 연중 모니터링

이상에서 결정된 변수를 통해 최적의 모니터링 조건에서(96% Z14Ac, 방출기 당 1 mg, 수관부 가장 자리의 델타트랩) 관행적으로 해충 방제가 이뤄지는 농가를 대상으로 안동지역에서 2007년 연중 복숭아순나방 발생을 조사하였다(Fig. 5). 월동세대의 우화가 4월 초부터 시작되어 5월말까지 진행되었다. 이 시기는 농약 방제가 거의 없어 성충의 발생 밀도가 매우 높게 나타났다. 그러나 본격적으로 약제 방제가 시작되는 6월 이후에는 복숭아순나방 발생이 저조하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이 낮은 밀도의 복숭아순나방 밀도를 분석하면(Fig. 5의 내부 그림), 6월 초중순경에 야외 제1세대, 7월 중하순에 제2세대, 8월 중순경에 제3세대 그리고 9월 기간에 제4세대의 발생 주기를 볼 수 있다. 즉, 안동지역 사과원에서 복숭아순나방은 월동세대 이후 4세대의 발생피크를 나타냈다.

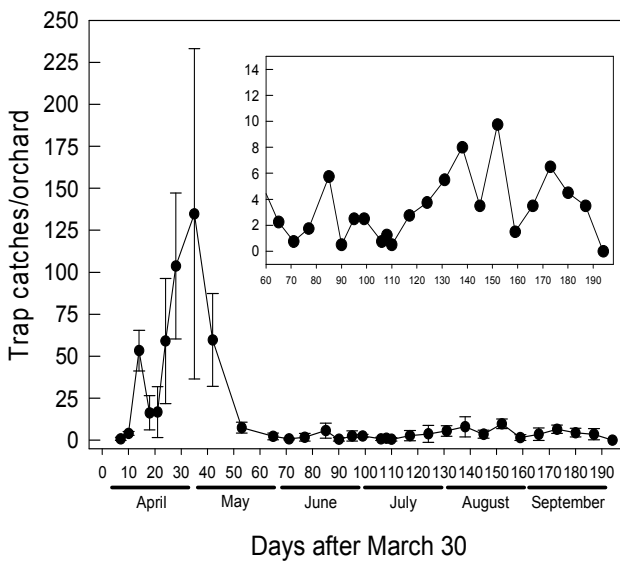


Fig. 5. Monitoring field population of *Grapholita molesta* occurring in four Andong apple orchards at 2007. Four field populations were monitored using a pheromone lure containing Z14Ac: E14Ac: Z14OH (96:4:1, g/g). Three "Cone" traps were deployed in each field. Each trap was installed at a height between tree trunk and canopy levels contained 1 mg of a pheromone lure in the rubber septum. The pheromone lures were replaced in no longer than 2 months. Trap catches represent average numbers \pm SD of the four fields in each time point. Inset illustrates the trap catches from late may to early october to show their fluctuations.

4. 고 찰

복숭아순나방 성페로몬 성분 가운데 Z14Ac는 가장 많은 성분비를 차지하는 주성분이다. 이 페로몬 성분에 대한 국내외의 연구 결과를 보면 전체 페로몬 성분에 중량비로 96%를 차지하는 것으로 알려지고 있다(George, 1965; Cardé *et al.*, 1979; Boo, 1998). 그러나 상용화되고 있는 복숭아순나방 성페로몬 성분을 살펴보면, Bedoukian 회사(Danbury, CT, USA)의 복숭아순나방 성분은 95.5%이고, ISCA 회사(Riverside, CA, USA)의 SPLAT[®] 제품은 93%이고, Pacific Biocontrol 회사(Vancouver, WA, USA)의 Isomate[®]-M ROSSO 제품은 88.5%를 각각 함유하고 있다. 한편 국내 사과원에서 시험되고 있는 복숭아순나방에 대한 교미교란 효과 검증에서 Z12Ac의 함량이 높을수록 교미교란 효과가 높다고 제시된 바 있다(Jung *et al.*, 2006). 이 가설을 증명하기 위해서는 순수한 즉 100% Z14Ac의 합성이 필요하였다. 이를 바탕으로 90-100% 범위의 *cis* 성분 비교 분석에서 본 결과는 96% 이상에서 최적의 수컷 유인 효과를 보인다고 제시하고 있다. 즉, 상용화되고 있는 낮은 *cis* 성분의 복숭아순나방 성페로몬 제품은 유인력에서 최적이지 아니라는 것을 의미하며, 교미교란에 적용할 경우라도 96% 이상의 고순도 성페로몬 조성이 적합할 수 있다고 본 연구는 제시하고 있다.

방출기에 함유된 성페로몬 적재량도 페로몬 지속기간이라는 측면에서 분석될 필요가 있었다. 본 연구 결과는 상용화되고 있는 1 mg을 기준으로 그 이하의 0.01-1 mg 범위에서 조사한 결과 적어도 3개월의 야외조건에서 적재량에 따른 차이를 보이지 않았다. 그러나 이후에는 모든 처리량에서 유인능력

이 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이전의 유사 연구(Kim *et al.*, 2004)와는 상반된 결과로서, 복숭아 과원에서 조사한 복숭아순나방의 유인행동은 성페로몬 적재량이 낮을수록 유인력이 높았고, 장기간 야외 노출시에도 오히려 새로 교체된 페로몬 방출기보다는(아마도 높은 적재량) 오래 방치된 페로몬 방출기가 유인효과가 큰 것으로 보여, 높은 농도의 페로몬 적재량이 유효하지 않았음을 지적하였다. 두 연구는 유사한 페로몬 조성을 이용하였다. 단지 조사한 과원이 사과와 복숭아의 차이로만 보여진다. 그러면 이들 상반된 결과를 해석하려면, 두 과원에서 복숭아순나방의 비행활동으로 볼 수 있다. 두 결과의 공통점은 2개월 이상의 비교적 오랜 기간동안 미량의 성페로몬방출기도 유인 효과를 지속하였다는 것이다. 본 연구실에서 조사한 고무방출기에 잔류하는 성페로몬 양은 시간에 따라 지수적으로 감소한다는 것이다. 즉, 2개월 이후가 되면 방출기내에는 10% 이하의 페로몬 성분이 잔류하게 된다(미발표자료). 이러한 결과들은 복숭아순나방의 성페로몬 교신이 비교적 극미량으로 근거리에서 이뤄질 수 있다는 것을 내포한다. 일반적으로 대부분의 복숭아순나방의 성충 이동은 일부 개체들을 제외하고 약 200 m 이상을 초과하지 않는 것으로 알려지고 있다(Rochschild and Vickers, 1991). 즉, 낮은 농도의 페로몬 함량은 짧은 거리의 페로몬 활성영역을 형성하게 될 것이고, 복숭아순나방의 짧은 이동거리를 고려하여 볼 때 충분히 유효거리 내에 들어올 것으로 해석된다. 이는 오랜 기간 야외에 방치된 페로몬 방출기도 비록 함량이 낮게 잔존하지만 근거리 통신에는 지장이 없다는 점에서 뒷받침된다. 또한 복숭아 과원에 보고된 높은 농도의 낮은 유인력은 일반적으로 과도하게 높은 농도의 성페로몬은 과도한 신경신호발생으로 유인력이 오히려 낮아질 수 있다는 보고들에서도 설명될 수 있다(Wyman, 1979; Knutson *et al.*, 1998). 이러한 해석들은 두 과원에 있어서 나무들의 수세 차이에서 설명될 수 있다. 즉, 사과에 비해 복숭아는 수관부 형성이 작고 잎의 밀도가 낮아 페로몬 활성영역이 사과에 비해 높은 농도로 길게 형성될 수 있다. 이러한 높은 농도의 영역이 복숭아순나방이 교신하는 근거리 이상까지 진행될 수 있다. 그러나 사과의 경우 수관부의 발달에 따른 페로몬 확산을 방해할 것이고 높은 농도로 방출하더라도 밀집된 수관부의 물리적 방해로 희석된 활성영역이 근거리지역에서 형성되게 된다. 이러한 연구로 본 연구가 진행된 사과원에서는 농도에 관계없이 일정 임계치를 넘은 페로몬 활성영역이 복숭아순나방이 교신하는 근거리지역에 형성되어 차이를 보이지 않은 것으로 해석될 수 있다. 현재 추진되고 있는 복숭아순나방의 교미교란제 처리에 있어서도 이러한 점이 고려되어 다량을 투입하기 보다는 소량을 보다 여러 지점에 설치하는 것이 교미교란의 효과를 증대할 수 있을 것으로 사려된다.

트랩의 유형 비교분석에서 페로몬 트랩 자체는 물론이고 일부 복숭아순나방의 모니터링에 이용되고 있는 먹이트랩과 페로몬트랩을 비교하였다. 먹이트랩은 복숭아순나방 성충의 섭식유인제인 테르피닐 아세테이트 효과를 이용한 것으로(II'chev *et al.*, 2006) 암수 모두를 유인하였다(Kim *et al.*, 2007). 현재 모니터링에 상용화되고 있는 델타형의 페로몬 트랩은 우수한 포획능력을 지닌 것으로 나타났다. 그러나 먹이트랩은 원뿔형의 페로몬 트랩만큼의 포획능력을 보여주어, 만약 이러한 먹이트랩 유인제를 담은 델타형 트랩이 개발될 수 있다면 먹이트랩도 복숭아순나방의 모니터링에 사용될 수 있다는 가능성을 제시하고 있다.

트랩의 설치 위치도 중요한 변수인 것으로 본 연구는 보여주고 있다. 수관부의 가장자리가 가장 높은 유인력을 보여주고 있다. 이러한 결과는 앞에서 고찰하였듯이 복숭아순나방이 교신거리가 비교적 근거리에서 유인하고 있다는 점에서 다시 설명될 수 있다. 이러한 결과들을 증명하기 위해서는 수컷의 방사와 재포획의 방법을 이용하여 이들의 정확한 교신 거리를 측정할 필요가 있겠다.

대부분의 해충 모니터링은 비교적 살충제가 처리되지 않은 포장에서 실시된다. 본 연구는 실제 정기적으로 화학농약 살포가 이뤄지는 농가 네 군데에서 복숭아순나방의 발생피크를 조사하였다. 예상한 대로 농약살포가 집중적으로 이뤄지는 6월 이후 포획되는 복숭아순나방의 밀도는 급격하게 낮아지는 것을 알 수 있다. 즉, 현재의 화학농약에 의한 복숭아순나방의 방제가 유효하다는 것을 보여주고 있다. 이러한 농가에서 발생하는 성충피크를 살펴보면 월동세대를 제외하고 4회가 보여진다. 이는 수원지역에서 조사된(Kim *et al.*, 2004) 월동세대 피크를 제외한 3회 피크 보다 1회 많은 발생 경향이다. 이러

한 추가 발생피크는 제3세대까지 비교적 빠르게 진행된 안동지역 발생피크가 9월 중하순에 걸쳐 제4세대를 형성하는 데서 비롯된다. 특별히 이 시기가 사과와 수확기와 맞물려 농약살포가 자제되는 시기이기 때문에 이전 세대에서 방제가 효과적이지 못하면 커다란 경제적 손실의 위협에 놓이게 된다. 특별히 이 시기에 교미교란제가 효과적으로 처리될 경우 환경친화적으로 이러한 손실을 줄일 수 있는 이상적 방제 기술로 제시될 수 있다.

5. 결론

복숭아순나방(*Grapholita molesta*)의 성페로몬으로 세 가지 성분(Z14Ac, E14Ac, Z14OH)이 밝혀졌으며, 이들은 상용화되어 해충집단 모니터링과 교미교란에 응용되고 있다. 그러나 이들 상용화 제품들을 살펴보면, 성페로몬 성분비 및 각 방출기에 들어있는 유효성분량에서 있어서 상이했다. 본 연구는 성페로몬을 이용한 복숭아순나방 모니터링에 있어서 수컷 유인과 포획에 대한 변동을 줄 수 있는 요인들을 밝히고, 이들 요인의 최적화를 시도하였다. 이를 위해 성페로몬 성분비 및 함량, 유효 방출기간 그리고 트랩 형태 및 설치높이를 분석하였다. 이상적 모니터링을 위해서는 높은 농도(96% 이상)의 Z14Ac 성분이 효과적이었다. 그러나 방출기에 들어 있는 성페로몬 함량은 0.01-1 μg 농도에서 야외 설치 이후 90일 동안(6-9월) 차이가 없었다. 트랩은 델타형이 원뿔형 보다 뚜렷하게 효과적이었으며, 이 트랩의 위치는 과수의 수관부위가 수컷을 유인하는 데 이상적이었다. 이러한 이상적 모니터링 변수를 이용하여 정기적으로 화학농약살포가 이뤄지는 안동 지역의 사과농가에서 복숭아순나방을 모니터링한 결과, 4-5월에 있는 월동세대 이후 4회의 성충발생 피크를 감지할 수 있었다.

제3절 *Cis*-1,8-dibromo-4-octene을 이용한 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 성페로몬의 입체 특이적 합성

복숭아순나방의 성페로몬은 1969년 미국의 Roelofs 등¹에 의해 (*Z*)-8-dodecen-1-yl acetate (**1**)로 확인되었으며, Figure 1에서 보는 것처럼 그 후 알코올 (*Z*)-8-dodecen-1-ol (**2**)와 1의 입체적 이성체인 (*E*)-8-dodecen-1-yl acetate (**3**)가 소량씩 포함되어있다는 사실이 밝혀졌다. 그러나 최근에는 주성분 **1** 만으로도 충분한 활성이 있음이 알려지고 있다². 국내에서도 복숭아순나방 집단에 대한 효과적인 페로몬 조성이 밝혀지고³ 이를 이용한 야외 집단의 모니터링이 시도되고 있다⁴. 지금까지의 연구 결과를 종합하면 복숭아 순나방 교미교란제의 주성분은 (*Z*)-8-dodecen-1-yl acetate (**1**)이며, 이 성분의 순도가 높을수록 교미교란 효과가 높은 것으로 알려져 있다.⁵

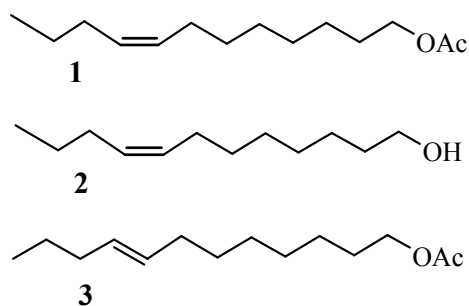
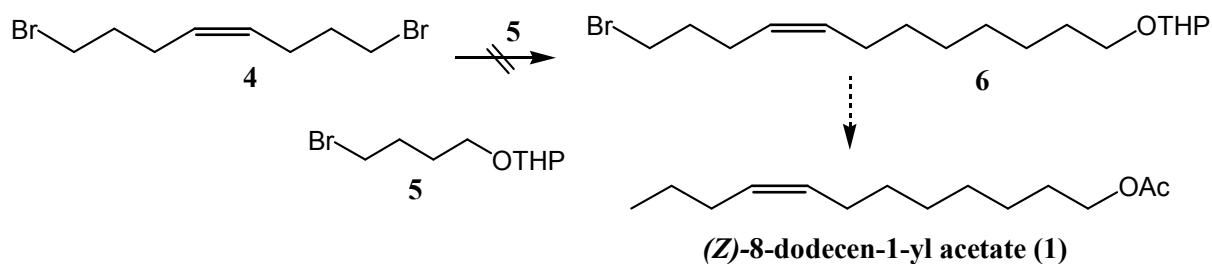


Figure 1. Three components of Oriental Fruit Moth Sex Pheromone

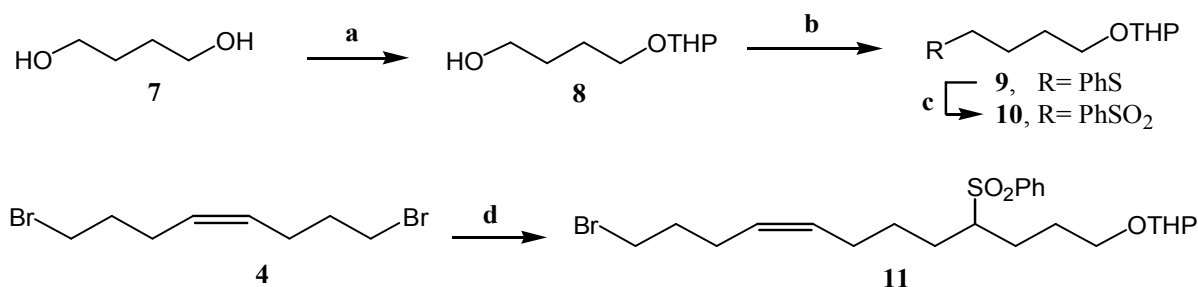
지금까지 알려진 화합물 **1**에 대한 합성법은 C-8에 *Z*-이중결합을 도입하는 방법에 따라 크게 세 부류로 나눌 수 있다. 먼저 1,7-heptanediol을 출발 물질로 하여 sodium acetylide로 C8에 삼중결합을 도입한다.⁶ 이 합성법의 핵심은 palladium 촉매로 삼중결합을 *Z*-이중결합으로 환원하는 과정이다. 삼중결합으로부터 catalytic reduction에 의한 이중결합으로의 반응은 필수적으로 (*E*)-이성체의 생성을 수반하게되어 고순도의 (*Z*)-이성체를 만들기가 쉽지 않다. 또 다른 합성법으로는 Wittig olefination 반응을 이용하여 (*Z*)-이중결합을 도입하는 것이다.⁷ 1,8-Octanediol로부터 만들어진 8-acetoxyoctan-1-al과 n-butylyde를 염기촉매 coupling하여 화합물 **1**을 만들었다. 이 방법 역시 carbon-carbon coupling 하는 일반적인 방법이지만 (*Z*)-입체선택성이 좋지 않으며 수율이 좋지 않은 문제점이 있다. 마지막으로 일본의 Sinezusa에서 실제로 합성하여 판매하고 있는 합성법으로서 이미 *Z*-이중결합이 도입되어 있는 (*Z*)-3-Hepten-1-ol로부터 유도된 Grignard reagent와 1-bromo-7-chloropentane을 coupling시키는 것이다. 이 방법도 출발 물질 (*Z*)-3-hepten-1-ol의 이성체 순도 문제로 고순도의 목적화합물 **1**을 만들기 어렵다. 본 연구에서는 구조적으로 (*E*)-이성체의 생성이 불가능한 *cis*-이중결합을 가진 출발물질로부터 입체특이적인 (*Z*)-8-dodecen-1-yl acetate를 합성하고자 한다. 이렇게 합성된 입체특이적인 화합물 **1**은 복숭아 순나방 교미교란제의 세 성분 중에서 100% *Z* 이성질체 성분만을 가질 경우 교미교란 효과에 어떠한 영향을 주는지 예찰할 수 있는 기회를 제공한다.

입체특이적으로 순수하게 *cis*-이중결합을 가진 출발물질 *cis*-Oct-4-ene-1,8-dibromide (**4**)은 알려진 방법에 따라 1,5-cyclooctadiene로부터 쉽게 합성하여 사용하였다.⁸ 이 화합물로부터 순수한 *cis* 이성체인 복숭아 순나방 페로몬의 주성분 **1**을 만들기 위하여 scheme 1과 같이 합성디자인 하였다.



Scheme 1.

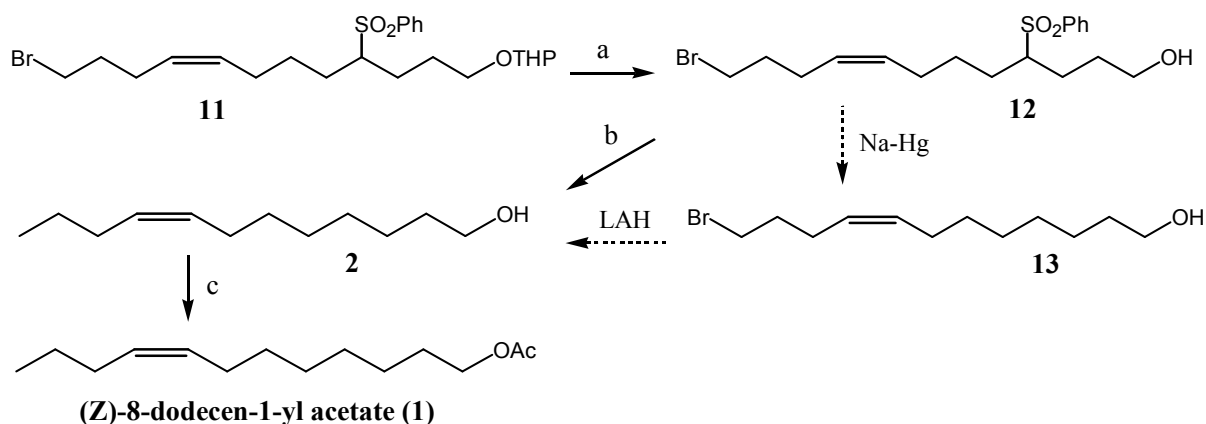
Dibromide **4**에 4-bromobutan-1-ol THP ether (**5**)를 Grignard 반응으로 coupling하여 화합물 **6**을 만들고, lithium aluminum hydride(LAH)로 Br을 reductive elimination한 후 마지막으로 acetylation하여 목적화합물 **1**을 얻고자 하였다. 그러나 여러 번의 시도에도 불구하고 안타깝게도 dibromide **4**와 **5**의 Grignard coupling이 성공하지 못하였다. 따라서 출발물질 **4**와 결합하기 위한 다른 C₄ 화합물을 찾아 coupling을 시도하기로 하였다. (Scheme 2) 즉, butanediol (**7**)로부터 세 단계에 의해 만들어진 sulfone 화합물 **10**과 dibromide **4**를 반응시켜 coupling 화합물 **11**을 합성하고자 하였다. Sulfone **10**에 n-BuLi를 가하여 먼저 deprotonation한 후 dibromide **4**를 첨가하여 약 2시간 만에 coupling된 C₁₂ 화합물 **11**을 상당히 좋은 수율로 얻을 수 있었다.



Scheme 2. Reagent and conditions: (a) 1.02eq of DHP, 0.038eq of PPTS, MC, 3hr, 47%; (b) 1.1eq of PhSSPh, 1.1eq of *tri*-n-butylphosphine, THF, 1hr, 70%; (c) 2.5eq of *m*CPBA, MC, 0°C, 1hr, 89%; (d) 1.1eq of **10**, 1.1eq of 2.0M n-BuLi, THF/HMPA, -78°C→rt, 2hr, 67%

Scheme 3는 **11**로부터 목적화합물 **1**까지의 합성과정을 보여주고 있다. 먼저 C1 보호기를 pyridinium *p*-toluenesulfonate (PPTS)로 제거하여 알코올 **12**을 만들었다. 다음은 sulfone group의 제거이다. Sulfone의 제거를 위한 환원 방법에는 Mg/HgCl₂/NaH₂PO₄⁹, Raney Nickel, Na/Hg¹⁰ 등 몇 가지만 알려져 있다. 반응하기 쉽고 친환경적인 앞의 두 방법으로 환원을 여러 번 시도하였으나 성공하지 못하였으며, 결국 가장 잘 알려져 있는 sodium amalgam을 사용하기로 하였다. Sodium amalgam을 소량 사용하고 실온에서 반응시켰을 때 반응이 전혀 진행되지 않았으며 출발물질만 회수하였다. 그러나 과량의 sodium amalgam을 사용하며 환류 시켰더니 출발물질이 TLC 상에서 약해지면서 출발물질 보다 위로 나타나는 spot이 생기는 것으로 반응이 진행됨을 알 수 있었다. 생성물은 당연히 desulfonation된 bromoalcohol **13**이라고 생각하고 NMR 확인 하였는데, 예상외로 debromination된 (Z)-8-dodecen-1-ol (**2**) 이 생성되었음을 확인하였다. Aromatic halides가 Na/Hg에 의해 환원되는 경우가 있지만,¹¹ 화합물 **12**처럼 alkyl 위치에서 dehalogenation되는 경우는 아직 알려져 있지 않은 것으로 알고 있다. 결과적으로, 운이 좋게도 alcohol **2**로 가기 위하여 화합물 **13**로부터 LAH reduction하여 debromination하는 과정을 생략할 수 있었다. 마지막으로 목적화합물 (Z)-8-dodecen-1-yl acetate (**1**)는 화합물 **2**를 acetylation하여 정제 후 95%의 높은 수율로 합성되었다. 합성된 물질을 가스크로마토그래피로 확인한 결과 예상대

로 *trans* 피크를 거의 볼 수 없는 순수한 *cis* 이성체임을 알 수 있었다.



Scheme 3. Reagent and conditions: (a) 0.15eq of PPTS, ethanol, 55°C, 3hr; (b) excess of 5% sodium amalgam, ethanol, reflux, 49% (two step yield from **27**); (c) Ac₂O, dry pyridine, overnight, 84%.

일반적으로 *Z* 이성질체의 비율이 높아질수록 따라 유인력 효과에 좋은 것으로 알려져 있다. 따라서 합성된 입체특이적인 (*Z*)-8-dodecen-1-yl acetate는 복숭아순나방의 유인력 테스트에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 값싼 1,5-cyclooctadiene으로부터 합성된 중간물질 *cis*-Oct-4-ene-1,8-dibromide는 *Z* 이중결합을 포함하는 다른 여러 가지 화합물의 출발물질로도 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

실 험

시약 및 기기. 관 크로마토그래피는 머크사의 실리카겔 (70 ~ 230 mesh ASTM)을 사용하였으며 시약은 Aldrich 사와 T.C.I 사의 제품을 정제 없이 사용하였으며 용매는 제품을 정제하지 않고 사용하거나, 문헌에 알려진 방법에 의거하여 증류 정제 하여 사용하였다. ¹H 및 ¹³C NMR 스펙트럼은 Varian Gemini 300MHz Spectrometer, IR 스펙트럼은 JASCO FT/IR 460 Plus, 그리고 원소분석은 Fisons, EA 1108을 이용 데이터를 얻었다. 합성된 페로몬 성분은 Focus GC (Thermo Electron co. Milan, Italy)와 DB-25 column (30m X 0.250 mm, Agilent Technologies, Ins. Palo Alto, CA, USA)을 이용하여 오븐 온도 125°C, 흐름속도 1.0ml/min, 주입 시료량 2μl로 분석되었다.

4-[(Tetrahydropyran-2-yl)oxy]butan-1-ol (8). 1,4-butanediol 5g(55.5 mmol)과 *p*-toluenesulfonic acid 0.4g(2.11 mmol)을 넣고 dry tetrahydrofuran(THF) 50mL에 녹인다. 여기에 3,4-dihydro-2H-pyran (DHP)을 4.7g (56.6 mmol) 넣어 실온에서 3시간 반응을 시킨 후 용매를 감압으로 제거 한 뒤 ethyl acetate로 추출한다. 물, 포화 탄산수소나트륨 수용액과 소금물로 씻은 뒤 무수 황산마그네슘으로 물을 제거 한다. 컬럼으로 분리 하여 THP ether **8**을 (4.5g, 47%) 합성 하였다. *R*_f= 0.6 (25% EtOAc in hexane); IR (CHCl₃) ν_{\max} = 3405, 2937, 2862, 1120, 1024 cm⁻¹; ¹H NMR (CDCl₃, 400MHz) δ = 4.50 (t, *J* = 2.8Hz, 1H), 3.52 (t, *J* = 6.7Hz, 2H), 3.78 (t, *J* = 7.5Hz, 2H), 3.65 (t, *J* = 6.5Hz, 2H), 3.52 (t, *J* = 6.7Hz, 4H), 1.74-1.77(m, 2H), 1.61-1.66(m, 2H), 1.45-1.53(m, 2H); ¹³C NMR (CDCl₃, 400MHz) δ = 99.1, 67.8, 62.5, 32.9, 31.0, 30.1, 30.0, 25.9, 25.80.

4-Phenylthiobutyl tetrahydropyran-2-yl ether (9). THP ether **8** 1g (5.74 mmol)과 PhSSPh 1.38g

(5.3 mmol)을 질소 하에서 dry THF 15mL에 녹인 후 *tri*-*n*-butylphosphine 1.28g (6.33 mmol)을 천천히 넣는다. 실온에서 1시간 동안 반응시킨 뒤 ether로 추출한다. 물, 10% NaOH, 소금물로 씻고 용매를 감압하여 제거 한 뒤 컬럼으로 정제한 결과, 화합물 **9** 1.07g을 70% 수율로 합성하였다. $R_f = 0.53$ (25% ethyl ether in hexane); IR (CHCl₃) $\nu_{\max} = 2940, 2867, 1134, 1033. \text{ cm}^{-1}$; ¹H NMR (CDCl₃, 300MHz) δ 7.24–7.35(m, 5H), 4.56 (t, $J = 2.7\text{Hz}$, 1H), 3.73–3.86(m, 2H), 3.38–3.50 (m, 2H), 2.96 (t, $J = 6\text{Hz}$, 2H), 1.64–1.81 (m, 8H), 1.51–1.58(m, 2H); 원소분석: Calcd for C₁₅H₂₂O₂S: C, 67.60; H, 8.30; S, 12.0. Found: C, 67.36; H, 8.47; S, 11.24.

4-Phenylsulfonylbutanyl tetrahydropyran-2-yl ether (10). Sulfide **9** 1g (3.75 mmol)을 MC 20mL에 녹인 뒤 71.5% *m*CPBA(3-chloroperoxy benzoic acid) 1.62g (9.38 mmol)을 0°C에서 10분에 걸쳐 넣고 이 온도에서 1시간 정도 교반 한다. 시간이 지나면서 하얀색 고체가 생성이 된다. 반응이 끝나면 고체를 filter 하고 MC로 씻어 낸다. 여액을 농축시켜 ether로 추출한다. 유기층을 10% 탄산수소나트륨 수용액과 소금물로 씻어 낸 뒤 무수 황산마그네슘으로 물을 제거하고 감압으로 용매를 날린 뒤 컬럼으로 분리 하여 물질 **10** 1g(89%)을 합성하였다. $R_f = 0.44$ (50% hexane in EtOAc); IR (KBr) $\nu_{\max} = 3609, 2941, 1144, 1031 \text{ cm}^{-1}$; ¹H NMR (CDCl₃, 400MHz) δ 7.84(d, $J = 7.3\text{Hz}$, 2H), 7.60 (t, $J = 2.0\text{Hz}$, 1H), 7.52 (dd, $J = 7.3, 2.0\text{Hz}$, 2H), 4.50 (t, $J = 2.6\text{Hz}$, 1H), 3.67–3.73 (m, 1H), 3.61–3.65 (m, 1H), 3.37–3.42 (m, 2H), 3.23–3.31 (m, 2H), 1.72–1.82 (m, 2H), 1.57–1.63 (m, 4H), 1.39–1.45 (m, 4H); ¹³C NMR (CDCl₃, 400MHz) δ 139.5, 134.0, 129.6, 128.5, 99.2, 66.8, 63.8, 62.7, 56.5, 31.0, 28.6, 25.0, 19.9.; 원소분석: Calcd for C₁₅H₂₂O₄S: C, 60.30; H, 7.40; S, 10.9. Found: C, 60.85; H, 7.6; S, 10.01.

(Z)-12-Bromo-4-phenylsulfonyl-8-dodecen-1-yl tetrahydropyran-2-yl ether (11). *cis*-Oct-4-ene-1,8-dibromide (**4**) 0.87g (3.2mmol)과 sulfone **10** 1.06g (3.57mmol)을 dry THF에 각각 8mL, 6mL 희석 시킨다. THF에 희석된 sulfone을 -78°C로 낮춘 뒤 2.0M *n*-BuLi 1.78mL (3.56 mmol)를 넣어 0°C로 온도를 올리고 5분가량 교반한다. 여기에 dry Hexamethylphosphoamide(HMPA) 0.8mL를 첨가하여 -78°C까지 냉각시킨다. 이 mixture를 -78°C에서 THF에 희석된 dibromide **4**에 천천히 떨어뜨린다. 실온에서 2시간 교반 후 반응을 종료시키기 위해 NH₄Cl 포화 수용액을 넣어 주었다. ether로 추출 하고 물과, NH₄Cl 포화 수용액, 그리고 소금물 순서로 씻은 뒤 무수 황산나트륨으로 건조하여 용매를 농축 시킨다. 컬럼으로 정제하여 화합물 **11** 1.05g(67%)을 합성 하였다. $R_f = 0.44$ (25% EtOAc in hexane); IR(KBr) : $\nu_{\max} = 3534, 2940, 1446, 1301, 1143 \text{ cm}^{-1}$; ¹H NMR (CDCl₃, 400MHz) $\delta = 7.89$ (d, $J = 7.4\text{Hz}$, 1H), 7.64 (t, $J = 6.1\text{Hz}$, 1H), 7.55 (t, $J = 7.4\text{Hz}$, 1H), 5.35–5.30 (m, 2H), 4.51(br s, 1H), 3.85–3.63 (m, 2H), 3.85–3.63 (m, 2H), 3.52–3.30 (m, 2H), 3.39 (t, $J = 6.6\text{Hz}$, 2H), 2.99 (br s, 1H), 2.23–2.12 (m, 2H), 2.09–1.99 (m, 2H), 1.97–1.83 (m, 2H), 1.82–1.35 (m, 14H); ¹³C NMR (CDCl₃, 400MHz) $\delta = 138.4, 133.9, 130.80, 129.5, 129.2, 128.8, 99.2, 67.1, 64.5, 62.7, 62.5, 33.8, 32.8, 30.1, 27.7, 27.5, 27.1, 27.0, 25.9, 25.8, 19.9.$; 원소분석: Calcd for C₂₃H₃₆O₄SBr: C, 56.60; H, 8.00; S, 6.56. Found: C, 57.47; H, 7.31; S, 6.24.

(Z)-8-dodecen-1-ol (2). 화합물 **11** 0.34g (0.71mmol)에 pyridine *p*-toluene sulfonate(PPTS) 27mg(0.11mmol)을 넣고 ethanol에 희석 시킨다. 이 mixture를 55°C에서 4시간 반응시킨다. 반응이 끝나면 ethanol을 감압 하여 제거한 뒤 ether로 추출한다. 6N 염산 수용액과 물, 소금물로 씻고 무수 황산마그네슘으로 건조 후 용매를 감압 하였다. 합성된 알코올 화합물 **12**는 정제 없이 다음 반응으로 진행하였다. 화합물 **12** 200mg에 5% sodium amalgam 5g을 넣고 dry ethanol에서 환류 시킨다. 반응이 끝나면 celite로 필터하여 ether로 추출한다. 물과, 소금물로 씻은 뒤 용매를 감압으로 제거하여 컬럼으로 정제 후 화합물 **2** 0.11g을 two-step 수율 49%로 합성 하였다. $R_f = 0.5$ (25% EtOAc in hexane); IR(KBr) : $\nu_{\max} = 3325, 2928, 2855, 1056\text{cm}^{-1}$; ¹H NMR (CDCl₃, 300MHz) δ 0.90 (t, $J = 7.2\text{Hz}$, 3H), 1.32 (br, s., 12H), 2.01 (m, 4H), 3.64 (t, 3H, $J = 6.6\text{Hz}$), 5.36 (m, 2H); ¹³C NMR (CDCl₃, 300MHz) δ 130.1,

126.8, 63.2, 32.9, 29.8, 29.4, 29.4, 27.3, 25.8, 23.0, 13.9.

(*Z*)-8-dodecen-1-yl acetate (1). 알코올 2 0.11g(0.54 mmol)을 dry pyridine에 녹이고 acetic anhydride 66mg (0.65mmol)을 0°C에서 넣은 후 실온에서 overnight 반응 시킨다. 반응이 끝나면 얼음물로 반응을 끝낸 후 ether로 추출한다. 5% 염산 수용액, 포화 탄산수소나트륨 수용액, 소금물 순으로 씻은 뒤 무수 황산마그네슘으로 건조 시킨 뒤 용매를 제거하고 컬럼으로 정제하여 최종 목적화합물 1 0.1g(84%)을 합성하였다. $R_f = 0.4$ (10% EtOAc in hexane); IR(KBr) : $\nu_{\max} = 2929, 1742, 1463, 1239, 1041 \text{ cm}^{-1}$; $^1\text{H NMR}$ (CDCl_3 , 300MHz) δ 0.9 (t, $J=7.2\text{Hz}$, 3H), 1.35 (br. s, 16H), 1.96 (m, 2H), 2.04 (s, 3H), 4.04 (t, $J= 6.9\text{Hz}$, 2H), 5.35 (m, 2H); $^{13}\text{C NMR}$ (CDCl_3 , 300MHz) δ 171.9, 130.1, 129.9, 64.8, 29.8, 29.49, 29.3, 28.7, 27.3, 26.0, 23.0, 21.1, 13.9, 10.3 .

인 용 문 헌

1. Roelofs, W. L.; Comeau, A.; Sell, R. *Nature* **1969**, *224*, 723.
2. a) Roelofs, W. L.; Carde, R. T. *Environ. Entomol.* **1974**, *3*, 586. b) Carde, R. T.; Baker, T. C.; and Roelofs, W. L. *Nature* **1975**, *253*, 348.
3. Boo, K. S. *J. Asia-Pacific Entomol.* **1998**, *1*, 17.
4. Yang, C. Y.; Han, K. S.; and Boo, K. S. *Korean J. Appl. Entomol.* **2001**, *40*, 117.
5. Kim, Y.; Jung, S.; Bae, S.; Kwon, B.; Yoon, H.; Hong, Y. P. *Korean J. Appl. Entomol.* **2001**, 117.
6. Kang, S.-K.; Shin, Y. K. *成大論文集(基礎科學)* **1987**, *38*, 103.
7. Kang, S.-K.; Kim, J.-H.; Shin, Y.-C. *Bull. Korean Chem. Soc.* **1986**, *7*, 453.
8. a) Raederstorff, D. A.; Shu, Y. L.; Thompson, J. E.; Djerassi, C. *J.O.C.* **1987**, *52*, 2337. b) Nagarkatti, J. P.; Ashley, K. R. *Tetrahedron Lett.* **1973**, *14*, 4599. c) Tolstikov, G. A.; Odinkov, V. N.; Galeeva, R. I.; Bakeeva, R. S. *Tetrahedron Lett.* **1978**, *19*, 1857.
9. (a) Lee, G. H.; Lee, H. K.; Choi, B.; Kim, B. T.; Park, C. S. *Tetrahedron Lett.* **1995**, *36*, 5607. (b) Lee, G. H.; Choi, E. B.; Lee, E.; Park, C. S. *Tetrahedron Lett.* **1994**, *35*, 2195. (c) Lee, G. H.; Choi, E. B.; Lee, E.; Park, C. S. *Tetrahedron Lett.* **1993**, *34*, 4541.
10. (a) Trost, B. M.; Arndt, H. C.; Strege, P. E.; Verhoeven, T. R. *Tetraheron Lett.* **1976**, *17*, 3477. (b) Kunzer, H.; Thiel, M.; Sauer, G.; Wiechert, R. *Tetrahedron Lett.* **1994**, *35*, 1691.
11. Austin, E.; Alonso, R. A.; Rossi, R. A. *JCR(S)* **1990**, 190.

제4절 사과원 발생 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 수컷 촉각 구조 결실과 미세구조 분석

1. 서론

페로몬 감지는 곤충의 촉각에 존재하는 화학감각기에 의해 이뤄진다. 이 화학감각기에 존재하는 냄새수용체의 일종인 페로몬수용체에 페로몬 화합물이 직접적으로 결합함으로써 신경세포의 활동전위를 발생시키고, 이 전기신호는 가운데뇌의 촉각엽에 존재하는 거대사구체에 이르게 된다(Blagburn & Bacon, 2004). 이곳에서 촉각에서 유래된 다수의 감각신경이 소수의 연합신경에 신호를 전달하면서 정보의 집중현상이 나타나게 되고, 다시 앞뇌의 유병체에 전달되어 최종 종합분석이 이뤄진다(Hildebrand & Shepard, 1997).

복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))은 사과의 과실에 직접 피해를 주는 주요 해충이다. 이 해충의 가해습성은 과실 내부에서 일어나기 때문에 화학 살충제에 의한 방제가 어렵다. 이를 해결하기 위한 방제 기술로서 성페로몬을 이용한 교미교란 기술이 주목받고 있다(Yang *et al.* 2003; 정 등, 2006). 이와 더불어 페로몬을 이용한 모니터링 기술도 발달하여 복숭아순나방의 연중 발생소장을 지역적으로 측정할 수 있게 하였다(양 등, 2001). 본 연구는 성페로몬 트랩에 유인되는 복숭아순나방 촉각의 편절 마디에 결실이 많다는 것에 관심을 두고 페로몬 탐지에 필요로 되는 최소 편절 마디수 및 이들이 포함하고 있는 화학감각기수를 결정하는 데 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 사용된 복숭아순나방 수컷은 모두 페로몬트랩((주) 그린아그로텍, 경산)을 이용하여 수거된 야외 개체군이다. 트랩방출기는 고무형으로 *cis*-8-decenyl acetate, *trans*-8-decenyl acetate, *cis*-8-decenol의 성페로몬 성분들이 각각 88.5: 5.7: 1.0%로 포함되었다. 트랩은 함정형태로 구성되어 유인된 수컷이 수거통으로 모이게 되면, 매일 야외에서 수거하는 형태로 채집되었다. 채집 시기는 8-9월이고, 장소는 안동시 남선면 사과원에서 이뤄졌다.

편절 마디 수는 매일 야외에서 수거해 온 복숭아순나방을 50개체를 이용하여 광학현미경(Zeiss, 독일) 50배 비율에서 측정하였다. 마디 수는 양쪽 편절마디를 모두 세었고, 개체별 양쪽 편절마디수를 짝으로 야외 수컷의 촉각 손실을 분석하였다.

주사전자현미경(JSM-6300, Jeol) 분석을 위해 수컷의 머리부분만 따로 잘라낸 다음, 양면테이프를 이용하여 시료대에 부착시켰다. 이 시료를 60°C 오븐에 10분 동안 건조시켰다. 이후 Spurr Coater CP 3030 SCD 005/Baltec을 사용하여 금으로 증착한 뒤 주사현미경으로 15-25 KV에서 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

복숭아순나방 수컷은 채찍모양의 촉각을 나타냈다. 갖고 있다. 병절과 경절 이후 나타나는 편절은 야외 수컷의 경우 최대 48 마디수를 기록했다. 그러나 페로몬에 유인되어 채집된 수컷의 대부분은 한 개 이상의 편절 마디 결실수를 기록하였다 (Fig. 1). 일부는 전체 결실을 나타내기도 하였다. 일반적으로 야외 채집된 나방류의 경우 촉각의 편절마디에서 훼손이 있는 것이 관찰되었다. 이에 대한 구체적인 연구사례나 이에 대한 원인 규명 등은 보고된 것이 없는 것으로 알고 있다. 본 연구는 이러한 결실이 물리적 손상으로 여겨지며, 그럼에도 불구하고, 유인된 수컷은 남은 촉각마디로서도 페로몬에 반응한다는 사실을 반증하고 있다. 촉각 마디 손실을 보인 복숭아순나방을 분석하여 본 결과 90% 이상의 수컷은 최소한 한 쪽 촉각의 편절 수가 약 30개 이상으로 분석되었다. 일부 30개미만으로 양쪽 촉각이

모두 16개 이하의 편절마디수를 보인 개체가 있었으나, 이는 일부 개체의 사후 촉각마디 손실로 추정하고 있다. 이러한 결과는 복숭아순나방 수컷의 페로몬에 반응하여 교미행동유기는 최소한 30 마디 이상의 편절 마디수를 지녀야 한다는 것을 의미했다.

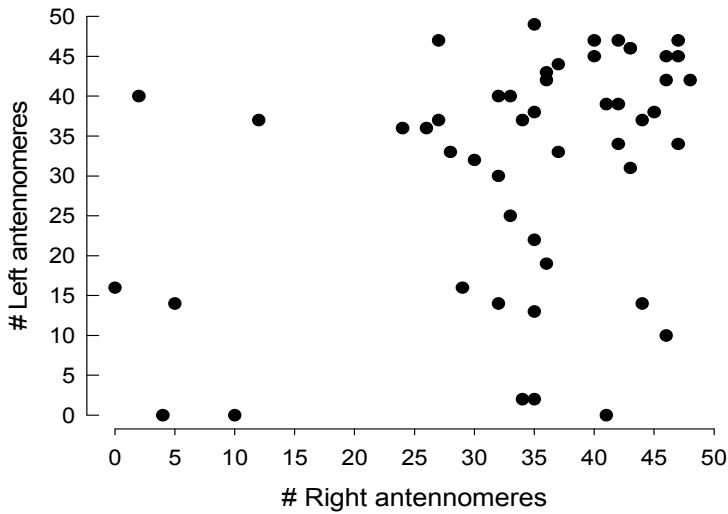
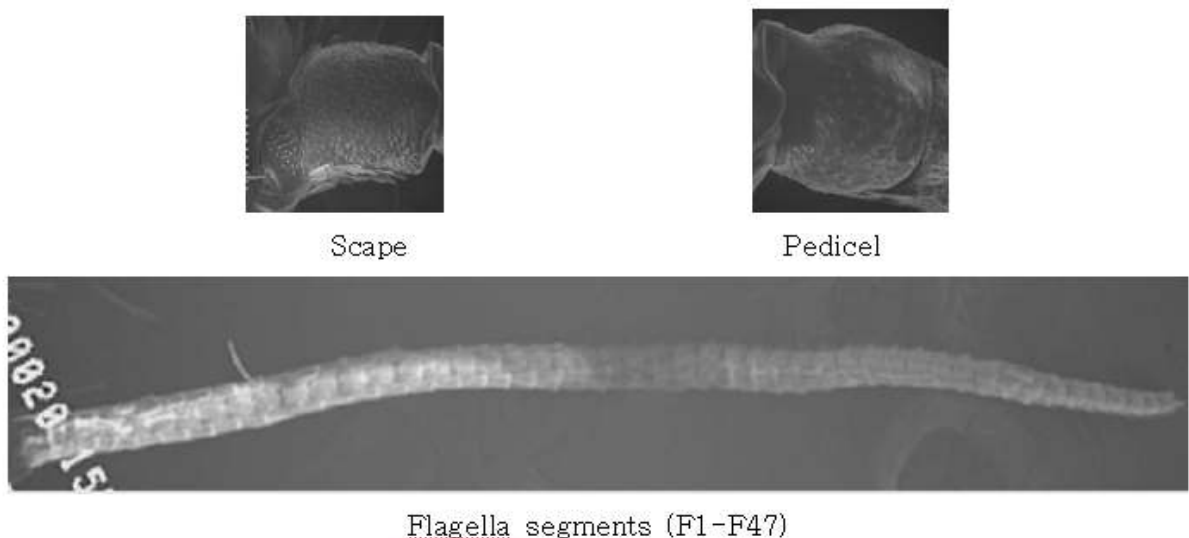


Fig. 1. Number of flagellomeres of *Grapholita molesta* males caught by a sex pheromone trap in apple orchard. The antennal segments of 50 individuals were counted in pair and plotted.

페로몬 반응에 대한 편절마디수의 중요성에 비추어 어떠한 감각기가 이 페로몬 감지에 관여했는지 그리고 어느 정도의 밀도가 요구되었는지를 알아보기 위해 촉각 감각기 미세구조를 주사현미경으로 관찰하였다(Fig. 2). 병절, 경절 그리고 편절에서 크게 네 가지 형태의 감각기 구조를 관찰할 수 있었다. 가장 많은 수는 털감각기로서 병절과 경절에는 존재하지 않고 편절에만 분포하였다. 편절에서는 마디별로 44.3 ± 15.9 개의 털감각기가 존재했고, 이는 전체 평균 2,128개를 기록하였다. 함입형감각기 편절에만 나타났고 마디별로 4.2 ± 2.5 개의 밀도와 전체 평균 202개를 기록하였다. 그러나 강모감각기는 편절에는 존재하지 않고 병절과 경절에만 존재하였다. 매우 적은 숫자(약 20개 정도)로 빨모양 감각기가 편절에 분포하였다.

(A)



(B)

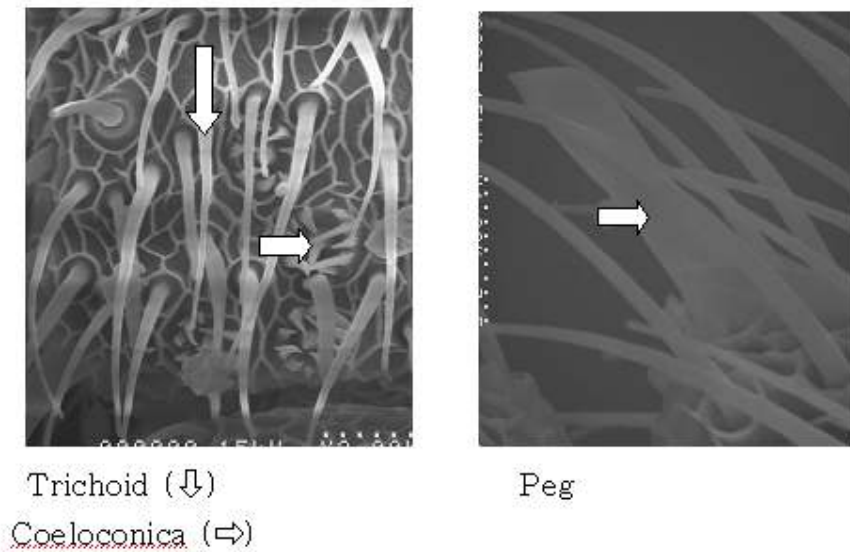


Fig. 2. Ultrastructures of antenna and its sensilla in *Grapholita molesta* males. (A) SEM photos of scape (150 x) and pedicel (150 x) and light microscope photo of flagella (50 x) (B) Three different sensillum structure (SEM, 1,500 x) on flagella.

편질마디별로 털감각기와 함입형감각기 분포를 조사하였다(Fig. 3). 털감각기의 경우 마디별로 4-78개의 다양한 밀도를 보였으며, 말단부위로 진행할수록 감각기 숫자의 감소를 나타냈다. 함입형감각기도 마디별로 0-8개의 분포를 보이며, 말단부위로 가면서 급격하게 밀도 감소를 보였다.

본 연구는 복숭아순나방의 촉각 미세구조 분석을 통한 야외 수컷의 페로몬 반응 능력을 추정하였다. 복숭아순나방을 포함한 대부분 나비목 수컷 촉각은 암컷의 페로몬에 대한 후각 기능을 담당하는 기관이다. 특별히 털감각기는 오랫동안 기계감각기로 알려져 왔으나, 전자현미경 기술의 발달과 더불어 내부 구조가 밝혀지면서 후각 기능이 알려졌고, 여기에 많은 구멍을 뚫어있는 감각기 외벽과 내부 미소관 구조가 밝혀지면서 페로몬 인식에 중요한 감각기로서 인식되었고(Kaissling, 1974, 1987), 여기에 페로몬 수용체가 발견되었다(Steinbrecht, 1987, 1999). 그러나 이러한 페로몬 수용 감각기형태는 곤충별로 차이가 있다. 예로서, 딱정벌레 나무좀류 경우는 짧은 털모양이나 빨모양감각기가 페로몬 감각을 수행하나(Dickens & Payne, 1978; Dickens, 1979), 먼지벌레류는 함입형 또는 판모양의 감각기가 이 일을 담당하게 된다(Mustaparta, 1984; Leal & Mchizuki, 1993).

기존의 연구를 토대로 복숭아순나방의 페로몬 감지에 털감각기가 관여하고, 여기에 본 연구에서 조사한 최소 편질 수가 30개를 고려한다면, 복숭아순나방이 페로몬에 반응하여 교미행동유기를 보이는 데는 두 촉각을 통합하여 최소한 1,330개의 털감각기가 필요할 것으로 추정한다. 즉, 이 이하의 털감각기 숫자로는 페로몬 감각 수용은 감각기를 통해 가능하나, 촉각엽을 통해 충분한 전기신호 자극이 뇌에 까지 미치지 못할 것으로 유추된다. 물론 이러한 추정은 수컷이 페로몬 근원지로부터 거리에 따라 변동될 수 있다. 즉, 페로몬 방출영역의 위치에 따라 페로몬 농도의 기울기가 있고, 이에 따라 반응될 수 있는 감각기의 숫자가 다르기 때문에 절대적 수치의 반응 역치의 감각기밀도를 추정하는 데 보다 정밀한 분석이 요구된다. 더욱이 Kaissling (1998)이 지적하였듯이 페로몬 감각은 페로몬 방출영역에서 농도의 기울기가 방향을 탐지하는 조정 역할을 담당하기 때문에 관여하는 감각기의 숫자 추정이 단순히 촉각엽의 거대사구체에서 정보의 집중에 필요한 전기신호 크기에 기준하여 결정하는 것보다는 복잡해질 수 있다.

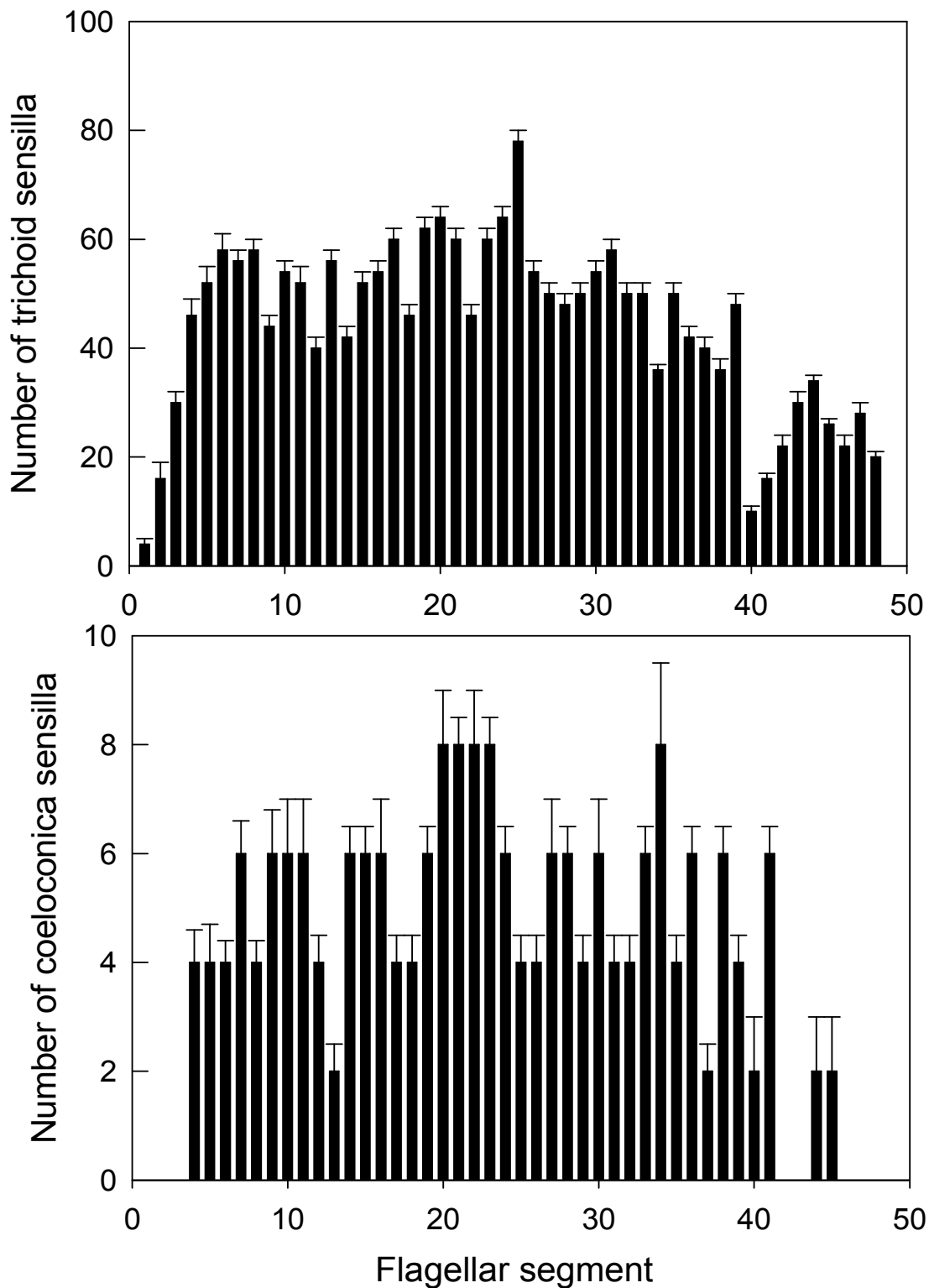


Fig. 3. Distribution of trichoid (A) and coeloconica (B) types of antennal sensilla of *Grapholita molesta* males. The sensilla were counted on 48 flagellomeres with five replications. The error bars above mean bars indicate their standard deviations.

본 연구가 주는 또 다른 의미는 야외 복숭아순나방이 페로몬 수용을 하는 데 실내 사육층에 비해 적은 편질수를 갖기 때문에, 이에 따라 적은 정보량을 수집할 수 있다는 사실이다. 이는 비교적 실내에서 추정된 것보다는 높은 페로몬 농도에서 야외층 집단이 반응할 것으로 추정된다. 또한 페로몬 성분 면에서 소량으로 존재하는 성분의 역할이 줄어들 수 있다. 국내의 복숭아순나방에 대한 최적의 성분비가 조사되었고, *cis*-8-decenyl acetate, *trans*-8-decenyl acetate, *cis*-8-decenol이 각각 95: 5: 1로 보고되었다(부 등, 1995). 그러나 야외 교미교란효과를 분석한 결과 *cis*의 함량이 95% 보다 높아짐에 따라 교미교란 효과가 높아지고, 반면에 *trans*의 함량이 높아지면 교란 효과가 떨어지는 것을 확인하였다(정 등, 2006). 추후 복숭아순나방을 대상으로 수컷 유인력과 교미교란을 적용하는 경우 이러한 촉각 결손효과가 반영될 필요가 있음을 본 연구와 더불어 기존의 연구들은 제시하고 있다.

5. 결론

페로몬을 이용한 곤충 집단 모니터링은 수컷 곤충의 페로몬 성분 감지와 더불어 나타나는 교미행동 유기에 기인된다. 이러한 성페로몬 성분 인식은 수용체에서 일어나는 화학물 결합으로부터 뇌의 유병체에서 종합 분석되는 단계까지 복잡한 신호전달과정을 밟게 된다. 페로몬수용체는 일반적으로 수컷 촉각의 털감각기에 존재하게 된다. 따라서 비록 많은 수의 페로몬 감각기가 존재하지만, 촉각마디의 결손은 수컷의 페로몬 인식을 손상시킬 수 있다고 추정된다. 본 연구는 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))에서 요구되는 페로몬 감각기 숫자를 결정하기 위해 수행되었다. 이를 위해 먼저 페로몬 트랩에 유인된 야외 복숭아순나방 수컷 촉각의 마디수를 측정하였다. 이후 촉각 마디에 존재하는 화학감각기를 동정하기 위해 주사전자현미경을 이용하여 미세구조를 관찰했다. 끝으로 각 마디별 화학감각기 숫자를 측정하여 수컷 교미행동을 유기하는 최소 감각기 숫자를 결정하였다. 야외 유인된 수컷 촉각 마디 수는 자연적 손상에 따라 0-48개까지 다양했다. 그러나 한쪽 촉각은 최소한 30개 이상을 유지했다. 화학감각기는 털감각기, 강모감각기, 뿔감각기 그리고 함입형감각기를 관찰할 수 있었으며, 이 가운데 털감각기가 약 2,000개 이상이 나타나 주종을 이루었다. 반면에, 함입형감각기는 1/10 수준인 약 200개, 그리고 강모감각기는 병절과 경절에만 존재하였다. 뿔감각기는 약 20개의 낮은 밀도로 편절에 분포하였다. 페로몬 감지에 털감각기가 관여한다는 사실을 기초하여, 본 연구는 복숭아순나방이 페로몬에 반응하여 교미행동유기를 보이는 데는 두 촉각을 통합하여 최소한 1,330개의 감각기가 필요할 것으로 추정한다.

제5절 야외 월동세대 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))에 대한 교미교란제 제형에 따른 처리 효과

1. 서론

일반적으로 야외 해충 방제의 연중 적기는 야외 발생 초기이다(Pedigo, 1991). 복숭아순나방은 연중 4-5세대 발생하며, 제1세대인 월동세대의 50% 우화시기는 4월 중순에서 5월 상순 동안에 나타나는 것으로 나타났다(Yang *et al.*, 2001). 본 연구는 복숭아순나방의 야외 제1세대를 방제 대상으로 설정하고, 이 시기에 교미교란제를 투여하여 수컷의 교미행동 교란 능력과 과실 피해를 분석하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역 및 복숭아순나방 야외집단 모니터링

Table 1. Field plots used for efficacy tests of two commercial mating disruptors against *Grapholia molesta*

Locality	Treatment ¹	Area (ha)	Date of treatment (Month/Date)	Period of monitoring (Month/Date)
Youngchon	Untreat	0.5	4/13	4/22-5/20
	SPLAT (O+ P)	1.0	4/13	4/22-5/20
	SPLAT (O)	1.0	4/13	4/22-5/20
	SPLAT (P)	1.0	4/13	4/22-5/20
Kyungsan	Untreat	0.8	4/13	4/22-5/20
	SPLAT (O+ P)	0.7	4/13	4/22-5/20
	SPLAT (O)	0.6	4/13	4/22-5/20
	SPLAT (P)	0.4	4/13	4/22-5/20
Chungsong	Untreat	0.5	4/13	4/22-5/20
	Isomate (O)	1.0	4/13	4/22-5/20
Youngju	Untreat	0.5	4/13	4/22-5/20
	Isomate (O)	0.5	4/13	4/22-5/20

¹ Two commercial mating disruptors: SPLAT[®] and Isomate[®]. 'O' and 'P' represent sex pheromones of oriental fruit moth and peach fruit moth, respectively.

국내 사과 집중 재배 지역 가운데 영천, 청송, 상주, 영주의 4개 지역을 조사 대상지역으로 선정하였다. 다시 이 지역들을 각각 처리별로 세부지역으로 구분하였다(Table 1). 복숭아순나방 예찰 트랩은 델타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)을 이용하였으며, 여기에 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH를 각각 88.5: 5.7: 1.0%로 포함하였다. 각 처리지역에서

는 바람의 방향을 고려하여 임의의 5개 지점에 트랩을 설치하였고, 5주간(4월 22일부터 5월 27일까지) 복숭아순나방 야외집단을 모니터링하였다.

2.2. 교미교란제 처리

두 종류(SPLAT[®]와 Isomate[®]-M ROSSO)의 교미교란제가 각각 ISCA 회사(Riverside, CA, USA)와 Pacific Biocontrol 회사(Vancouver, WA, USA)에서 구입되었다. SPLAT은 페로몬성분(Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH)이 각각 93.0: 6.0: 1.0%을 왁스유화제와 혼합한 형태로서 사과나무의 그늘진 곳에 크림형태로 부착시켰다. 각 사과나무에 처리되었으며, 포장 1 ha에 전체 제품 용량으로 약 1.3 Kg이 소요되었다.

Isomate는 밀봉된 폴리에틸렌 튜브에 페로몬이 들어 있는 형태로 가지에 고리형태로 꼬아서 처리하였다. 각 튜브에는 264.3 mg의 페로몬성분이 들어있으며, 이는 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 88.5: 5.7: 1.0%로 차지하고, 기타 불활성 성분이 4.8%가 함유되었다. 각 사과나무에 1개씩 처리되었으며, 포장 1ha에 약 600개(약 160 g 페로몬 성분)가 설치되었다.

2.3. 교미교란제 처리효과 조사

교미교란제 처리 후 1주일간격으로 처리지역의 수컷 집단 모니터링이 5주동안 실시되었다. 모니터링 트랩설치는 상기에 기술한 바와 같이 임의 5개 지점에서 실시되었으며, 처리간 비교는 조사기간 누적 유인 수컷 밀도를 이용하였다.

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

2.4. 교미교란효과 산출

교미교란제에 의한 수컷의 교미행동 억제율 처리 포장의 페로몬 트랩 유살수의 감소로 표현될 수 있다.

$$\text{교미교란효과}(\%) = \left(1 - \frac{\text{처리지역 수컷 유인누적밀도}}{\text{무처리 수컷 유인누적밀도}} \right) \times 100$$

또한 교미교란제에 의한 피해율 감소는 무처리구에 비해 과실과 어린 잎의 누적 피해수의 감소로 표현될 수 있다.

$$\text{피해율 감소효과}(\%) = \left(1 - \frac{\text{처리지역 피해 과수 및 신초수}}{\text{무처리 피해 과수 및 신초수}} \right) \times 100$$

3. 결과 및 고찰

우리나라 사과 주산지를 중심으로 4개의 조사지역이 설정되었다(Table 1). 각 지역은 무처리 세부지역을 설정하여, 지역간 복숭아순나방 발생 모니터링이 가능하였다. 복숭아순나방 모니터링은 이 해충의 월동세대의 우화 시기(Kim *et al.*, 2004)에 맞추어 조사되었다. 조사된 4개 지역 모두 조사기간 동

안 복숭아순나방이 발생하였다(Fig. 1). 이들 발생 밀도는 대부분 5월 초에 발생 최성기를 보이고, 다시 밀도가 줄었다. 이 가운데 영천 지역에서 가장 많은 발생 밀도를 보였고, 경산에서 가장 낮은 발생 밀도를 보였다. 이러한 복숭아순나방 야외 집단들은 이들의 월동세대가 우화한 집단으로 여겨질 수 있다. 이 해충의 월동태는 최종령 유충기로서 (Makaji, 1987), 배나무 과수원 월동지역에서 조사한 결과 95%의 월동 유충이 지표면에 가까운 주간과 측지에서 발견되었다(Yang *et al.*, 2001). 월동 유충은 2월 중순부터 용화를 하기 시작하여, 3월 중순에는 50%의 용화율을 나타내게 되고, 최대 우화 시기는 4월 하순에서 5월 상순에 걸쳐서 일어난다(Yang *et al.*, 2001). 즉, 본 연구의 지역별 무처리구의 복숭아순나방 발생은 월동세대의 성충 발생 기간으로 간주할 수 있다.

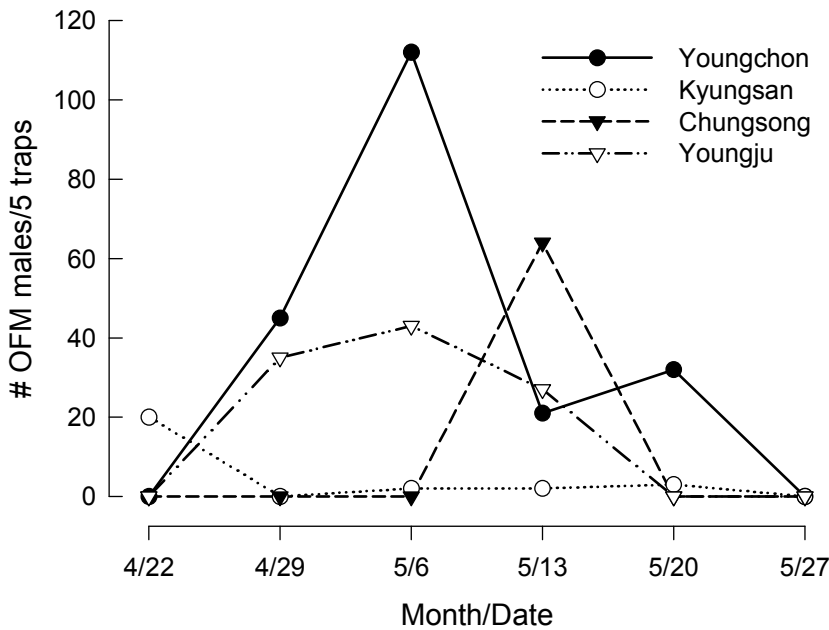


Fig. 1. Early season populations of the Oriental fruit moth (OFM), *Grapholia molesta*, in apple orchards of four different localities. Five sex pheromone traps were installed in the orchards (0.5–0.8 ha) and monitored every week during the investigation period.

이 월동세대의 야외 발생 1세대 복숭아순나방 집단들을 대상으로 두 종류의 상용화된 교미교란제가 처리되었다(Fig. 2). ISCA회사 제품의 크림형태의 SPLAT는 영천과 경산에 처리되었고, 튜브 고리형태의 Isomate는 청송과 영주에 처리되었다. 두 가지 방출기 교미교란제들은 모두 무처리에 비해 뚜렷하게 수컷의 성페로몬 트랩 유인력을 낮추어, 교미교란 효과를 유발하였다. SPLAT의 경우 교미교란 효과가 영천 처리구에서 99.5%, 경산 처리구에서는 100%를 기록하였고(Fig. 2A), 지역 간 효과 차이는 없는 것으로 나타났다($X^2 = 0.1285$; $df = 1$; $P = 0.7200$). 흥미롭게도 같은 방출기 형태이지만, 복숭아순나방 성페로몬 성분이 들어 있는 처리구('SPLAT(P)')는 두 지역 모두에서 무처리구와 같은 수의 수컷이 유인되어, 이상에서 얻은 수컷 유인 밀도의 감소가 복숭아순나방을 표적으로 한 교미교란에 의한 것임을 입증하고 있다. 그러나 두 방출기의 효과를 비교하여 보면, Isomate 교미교란제의 교미교란 효과가 청송에서 71.9%, 영주에서 78.1%로서 SPLAT 방출기 보다 효과 면에서 낮은 것으로 나타났다($X^2 = 48.8609$; $df = 3$; $P < 0.0001$). 이미 여러 연구에서 이러한 교미교란제들이 야외 복숭아순나방의 교미교란을 유발하여 과실 피해를 낮춘다고 보고하였다(Yang *et al.*, 2003; Cardé and Minks, 1995). Kovinci *et al.* (2005)의 경우 마이크로캡슐형의 방출기에 비해 본 연구에서 분석한 튜브형태의 Isomate 제품이 우수하다는 것을 입증하였으며, 포장 1 ha 당 12.4–49.1 g의 페로몬 유효성분 량으

로 효과적 교미교란을 유발시킬 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 약 160 g의 페로몬 유효성분이 투여되었으므로, 적어도 4배가량 과투여되었을 가능성을 내비치고 있다. 즉, 추후 포장 적용에서 있어서 처리량을 줄일 수 있음을 나타낸다. 이를 위해서는 처리 튜브 숫자를 줄이는 것 보다는 튜브당 들어 있는 유효성분량을 줄이는 것을 추천한다. 이에 대한 추가 연구시험이 필요하다.

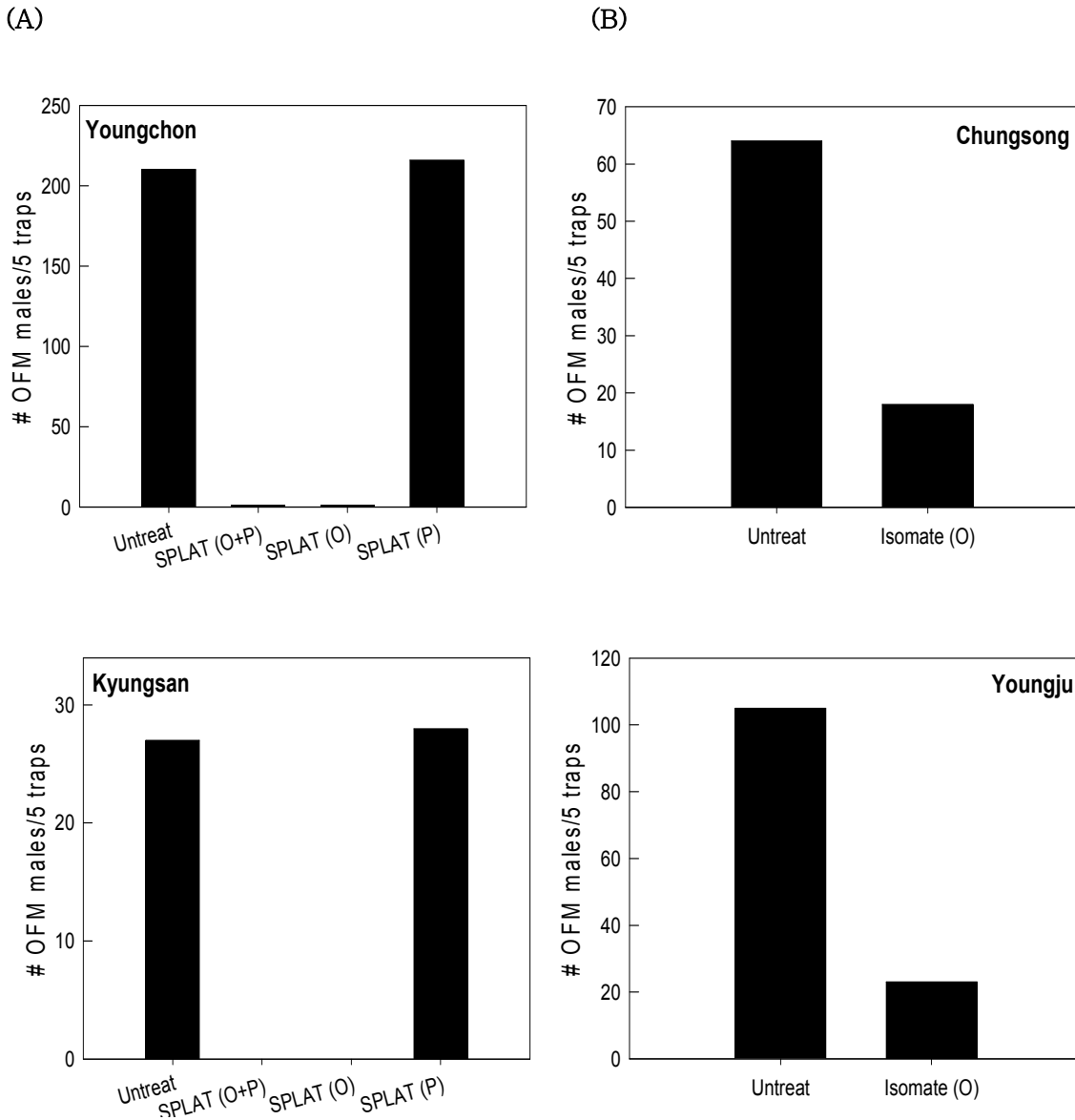


Fig. 2. Efficacy of two commercial mating disruptors on the male orientation of the Oriental fruit moth (OFM), *Grapholita molesta*, to the sex pheromone lures: (A) SPLAT[®] and (B) Isomate[®]-ROSSO. 'O' and 'P' represent sex pheromones of oriental fruit moth and peach fruit moth, respectively. The trap catches represent cumulative numbers of males for five weeks in each treatment.

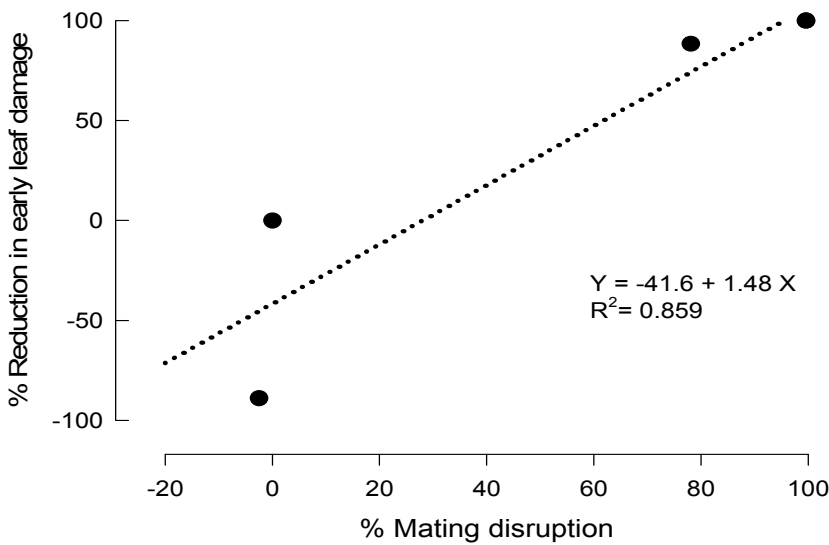


Fig. 3. Correlation between mating disruption by two commercial disruptors against *Grapholita molesta* and reduction in leaf damage of apple trees. Mating disruption was estimated by relative percent reduction in the attracted males in the treated plot compared to untreated plot. Damaged young leaves were counted from randomly-chosen 100 branches per orchard. The relative reduction in the damaged leaves was estimated compared to the damage rate monitored in the untreated plot.

Isomate 보다 SPLAT 처리구에서 교미교란효과가 높은 것은 방출기 형태에 차이보다는 성분비의 차이에 기인한 것으로 보인다. 즉, 국내의 복숭아순나방에 대한 최적의 성분비는 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 95: 5: 1로서(Boo *et al.*, 1995) Isomate 보다는 SPLAT 교미교란제가 이 비율에 더 가깝다는 사실로 입증된다. 국내에 비교적 많이 보급되어 있는 Isomate는 국내 복숭아순나방의 조성 맞추어 사용할 필요가 있음을 제시하고 있다.

교미교란제에 의한 수컷 유인력 감소는 교미율을 저하시킬 수 있으며, 이는 궁극적으로 복숭아순나방의 밀도를 낮추어 과실 및 새순 피해를 막게 한다. 이를 입증하기 위해 조사기간 동안 또한 과실 및 새순의 복숭아순나방 피해를 조사하였고, 이를 대조구과 비교하여 피해를 감소로 표현하였다. 다시 이 피해를 감소와 교미교란 효과와의 상관관계를 분석한 결과 높은 상관 관계를 보여(Fig. 3), 이러한 교미교란이 직접적으로 차세대 해충밀도를 낮추는 효과를 가져온다는 것을 보여주었다.

5. 결론

복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))의 교미교란제인 SPLAT[®]와 Isomate[®]-ROSSO의 교미교란효과를 각각 영천과 경산 및 청송과 영주에서 조사하였다. 성페로몬 트랩을 이용하여 4월 말부터 5월 말까지 야외 집단의 발생정도를 조사한 결과, 네 지역에서 모두 월동세대 개체군이 발생함을 확인하였다. 두 가지 형태의 교미교란제는 분석시기 10일 전에 포장에 처리되었으며, 두 교미교란제 모두는 수컷의 성유인물 탐지능력을 억제시켰다. 그러나 이 두 가지 교미교란제를 비교하면 SPLAT 형태가 Isomate 형태보다 교란 효과가 높았다. 이러한 교미교란 효과는 조사기간 동안 복숭아순나방의 피해로 여겨지는 신초 피해를 억제하는 능력과 높은 상관성을 가졌다.

제6절 야외 증식세대 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))에 대한 교미교란제 제형에 따른 처리 효과

1. 서론

본 연구는 기존에 상용되고 있는 교미교란제와 방출기 원리가 상이한 교미교란제를 현장에서 비교 실증시험하기 위해 발생초기에 두 교미교란제를 처리하고, 과실에 직접 피해를 줄 수 있는 야외 제1세대에서 제3세대까지의 복숭아순나방 수컷 유인교란 효과를 검증하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역 및 복숭아순나방 야외집단 모니터링

국내 사과 집중 재배 지역 가운데 영천, 청송, 경산, 영주의 4개 지역을 조사 대상지역으로 선정하였다(정 등, 2006). 복숭아순나방 예찰 트랩은 델타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)을 이용하였으며, 여기에 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH를 각각 88.5:5.7: 1.0%로 포함하였다. 각 처리지역에서는 바람의 방향을 고려하여 임의의 5개 지점에 트랩을 설치하였고, 매년 4월에서 8월까지의 5개월 기간 동안 3년간(2004-2006년) 복숭아순나방 야외집단을 모니터링하였다.

2.2. 교미교란제 처리

두 종류(SPLAT[®]와 Isomate[®]-M ROSSO)의 교미교란제가 각각 ISCA 회사(Riverside, CA, USA)와 Pacific Biocontrol 회사(Vancouver, WA, USA)에서 구입되었다. SPLAT은 페로몬성분(Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH)이 각각 93.0: 6.0: 1.0%을 왁스유화제와 혼합한 형태로서 사과나무의 그늘진 곳에 크림형태로 부착시켰다. 각 사과나무에 처리되었으며, 포장 1 ha에 전체 제품 용량으로 약 1.3 Kg이 소요되었다.

Isomate는 밀봉된 폴리에틸렌 튜브에 페로몬이 들어 있는 형태로 가지에 고리형태로 꼬아서 처리하였다. 각 튜브에는 264.3 mg의 페로몬성분이 들어있으며, 이는 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 88.5: 5.7: 1.0%로 차지하고, 기타 불활성 성분이 4.8%가 함유되었다. 각 사과나무에 1개씩 처리되었으며, 포장 1ha에 약 600개(약 160 g 페로몬 성분)가 설치되었다.

2.3. 통계자료 분석

교미교란제에 의한 수컷의 교미행동 억제를 처리 포장의 페로몬 트랩 유살수의 감소로 산출했다.

$$\text{교미교란효과(\%)} = \left(1 - \frac{\text{처리지역 수컷 유인밀도}}{\text{무처리 수컷 유인평균밀도}} \right) \times 100$$

본 자료의 통계분석은 arcsine transformation 한 후 SAS (SAS Institute, 1989)의 PROC GLM을 이용하여 one-way ANOVA로 처리효과 분석 및 처리 평균간 비교를 실시하였다.

3. 결 과 및 고 찰

사과원에 발생하는 복숭아순나방을 대상으로 상용 교미교란제를 처리하고 이에 대한 효과를 2004-2006년의 3년 동안 2개 지역에서 모니터링하였다(Fig. 1). 대조구로서 무처리구에서는 이 기간 동안 복숭아순나방 성충의 연중 발생 상황을 조사할 수 있었다. 두 지역과 3개년 자료를 종합하여 보면, 크게 월동세대와 연중 세대를 이어가는 생식세대로 대별할 수 있다. 월동세대의 성충 발생시기는 4월 중순-5월 중순으로 나타났다. 이 해충의 월동태는 최종령 유충기로서 (Makaji, 1987), 배나무 과수원 월동지역에서 조사한 결과 95%의 월동 유충이 지표면에 가까운 주간과 측지에서 발견되었다(양 등, 2001). 월동 유충은 2월 중순부터 용화를 하기 시작하여, 3월 중순에는 50%의 용화율을 나타내게 되고, 최대 우화 시기는 4월 하순에서 5월 상순에 걸쳐서 일어난다(양 등, 2001). 이후 본 모니터링 조사에서 살펴보면 야외 제1세대 성충이 6월 상순-6월 하순, 야외 제2 세대 성충이 7월 중순-8월 상순, 그리고 제3세대 성충이 8월 하순 이후로 나타나 4개의 뚜렷한 성충 발생 시기를 관찰할 수 있었다. 이는 기존의 보고(양 등, 2001)와 일치하는 경향으로 조사 시기 이후 즉, 8월 이후의 성충 발생을 1회 이상으로 고려한다면, 이 지역에서 복숭아순나방의 성충 발생은 연중 4-5회로 예상할 수 있다.

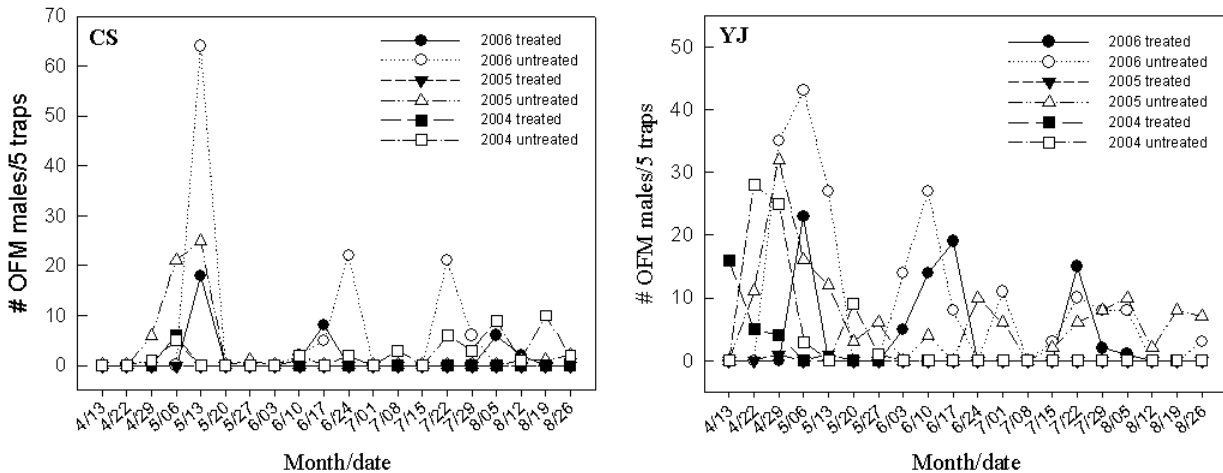


Fig. 1. Annual field populations of the Oriental fruit moth (OFM), *Grapholia molesta*, in apple orchards of two different localities, which were monitored for three years. Five sex pheromone traps were installed in the orchards (0.5-0.8 ha) and monitored every week during the investigation period. 'YJ' and 'CS' represent Youngju and Chungsong, respectively.

무처리구의 복숭아순나방 연도별 성충 발생 상황을 살펴보면, 월동세대 성충 밀도가 이후의 야외 차세대 밀도 형성에 양의 정상관관계를 보이고 있다는 것을 알 수 있다(Fig. 2). 즉, 월동세대 성충을 대상으로 교미교란제를 효과적으로 처리할 경우 직접 과실에 피해를 주는 차세대 증식을 억제하는 데 최적일 수 있다는 것을 제시하고 있다. 정 등(2006)은 월동세대에 방제 초점을 맞추고 교미교란제를 처리하였고, 높은 교미교란 효과는 물론이고 무처리구에 비해 신초 피해율을 90% 이상 낮출 수 있는 가능성을 제시하였다. 물론 이러한 교미교란제 만으로의 방제효과를 얻기 위해서는 교미교란제가 처리되지 않은 주변으로부터 교미된 암컷의 이입을 막는 방법이 고안되어야 한다.

본 모니터링 자료에서는 무처리구에서도 월동세대의 밀도가 가장 높고 이후 야외세대의 성충밀도가 낮아지는 경향을 보였다. 이는 조사된 포장이 살충제를 제외하고 타 농약의 살포가 허용되었으며, 다양한 살충제가 처리되고 있는 타 지역에서 유입되는 성충의 밀도가 낮아짐에 따라 나타나는 현상으로 이해될 수 있다.

Isomate를 처리한 포장에서는 무처리구에 비해 채집된 수컷의 밀도가 낮아 교미교란 효과가 있었음

을 알 수 있다(Table 1). 연도별로 수컷의 포획된 밀도의 차이도 보였지만, 가장 큰 영향을 준 것은 교미교란제 처리로서 전체 수컷 포획 숫자의 변이의 46.4%를 차지하고 있다. 이 교미교란제에 의해 사과원의 3년간 교미교란 효율은 60-100%로서 평균 약 79.8%이었다. 일반적으로 유인력 교란에 기초한 교미교란의 효과는 암컷이 분비하는 페로몬 자취에 교란을 주는 작용기작과 수컷의 감각기 습관화로 분류될 수 있다(Baker와 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 항상 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.

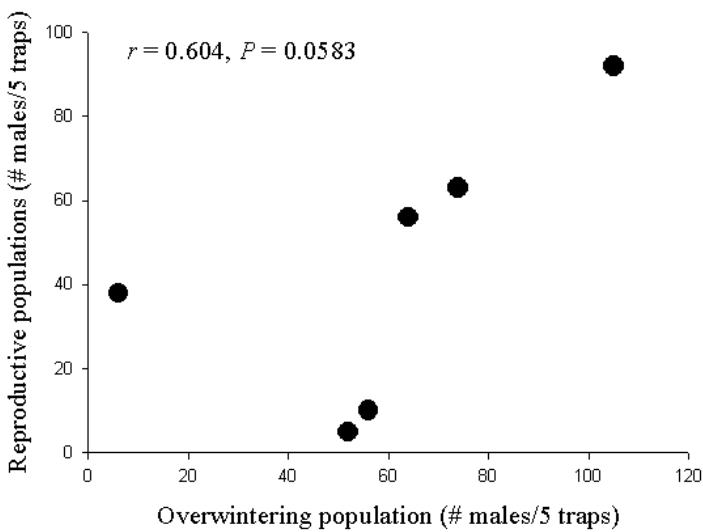


Fig. 2. Correlation in population sizes between overwintering and subsequent reproductive generations of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, in apple orchards of two different localities (Youngju and Chungsong), which were monitored for three years (2004–2006).

Isomate가 보여준 교미교란 효과는 다른 곤충과 마찬가지로 높은 생식능력을 보유한 복숭아순나방에게 밀도 감소를 기대하기에는 미흡하다. 이는 Knippling (1979)의 방사 불임 이론을 비추어 보면 해충방제에 효과를 나타내기 위해서는 매 세대 95%의 야외 수컷집단이 유살되어야 한다. 개량된 교미교란제를 찾기 위해 페로몬 성분면에서 차이가 있고, 방출기 원리도 다른 SPLAT 형태의 교미교란제를 선별하였고, 기존의 Isomate와 비교분석하였다(Fig. 3). 두 가지 방출기는 각각 두 지역에서 수컷의 교미교란 효과가 분석되었다. ISCA회사 제품의 크림형태의 SPLAT은 영천과 경산에 처리되었고, 튜브고리형태의 Isomate는 청송과 영주에 처리되었다. 두 가지 방출기 교미교란제들은 모두 무처리에 비해 뚜렷하게 수컷의 성페로몬 트랩 유인력을 낮추어, 교미교란 효과를 유발하였다. 그러나 두 방출기 사이에는 교미교란 효율에서 차이를 보였다. Isomate는 청송과 영주에서 각각 69.4 ± 18.7 과 39.2 ± 66.4 의 교미교란 효과를 보인 반면에, SPLAT은 동일한 시기에 경산과 영천에서 각각 96.6 ± 7.6 과 99.0 ± 1.7 의 교미교란 효과를 보였다. 즉, 두 방출기 사이에는 수컷의 교미교란 측면에서 뚜렷한 차이를 보인 반면, 각 방출기의 지역간 차이는 없었다(Table 2). 이미 여러 연구에서 이러한 교미교란제들이 야외 복숭아순나방의 교미교란을 유발하여 과실 피해를 낮춘다고 보고하였다(Yang 등, 2003; Cardé와 Minks, 1995). Kovinci 등(2005)의 경우 마이크로캡슐형의 방출기에 비해 본 연구에서 분석

한 튜브형태의 Isomate 제품이 우수하다는 것을 입증하였으며, 포장 1 ha 당 12.4-49.1 g의 페로몬 유효성분 량으로 효과적 교미교란을 유발시킬 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서는 약 160 g의 페로몬 유효성분이 투여되었으므로, 적어도 4배가량 과투여되었을 가능성을 내비치고 있다. 즉, 추후 포장 적용에서 있어서 처리량을 줄일 수 있음을 나타낸다. 이를 위해서는 처리 튜브 숫자를 줄이는 것 보다는 튜브당 들어 있는 유효성분량을 줄이는 것을 고려해 볼 수 있으며, 이에 대한 추가 연구시험이 필요하다.

Table 1. ANOVA of disrupting efficacy of a mating disruptor, Isomate, on male orientation of *Grapholita molesta* in two apple orchards for three years

Source	df	SS	MS	F	P
Year ¹	2	11688.5	5844.3	13.9	0.067
Orchard ²	1	5208.3	5208.3	12.4	0.072
Isomate ³	1	19200.0	19200.0	45.8	0.021
Error	2	838.5	419.3		
Total	19	41407.0	3764.3		

¹ 3 years from 2004 to 2006

² two places at Youngju and Chungsong

³ Treatment effect of mating disruptor

Isomate 보다 SPLAT 처리구에서 교미교란효과가 높은 것은 방출기 형태에 차이보다는 성분비의 차이에서 기인한 것으로 보인다. 즉, 국내의 복숭아순나방에 대한 최적의 성분비는 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 95: 5: 1로서(부 등, 1995) Isomate 보다는 SPLAT 교미교란제가 이 비율에 더 가깝다는 사실로 입증된다. 국내에 비교적 많이 보급되어 있는 Isomate는 국내 복숭아순나방의 조성 맞추어 사용할 필요가 있음을 제시하고 있다. 최근 국내에서 유기합성 기술을 통해 복숭아순나방 성페로몬 세 가지 성분을 제조하였고, 아세테이트류의 광학이성체 비율은 92:8(Z:E)을 나타냈다(김 등, 2006). 유기합성 기술을 보다 개량하여 *cis* 광학이성체의 비율을 높일 경우 추가적 교란 효과를 기대할 수도 있으리라 전망한다. 두 교미교란제의 차이점을 줄 수 있는 또 다른 요인으로서 두 방출기의 페로몬 방출 속도 및 야외 효력 지속 기간을 고려해볼 수 있다. 이 부분에 대해서는 현재 가지고 있는 자료가 없다. 추후 야외 노출 기간에 따라 두 방출기 내에 잔존하는 유효성분 함량과 생물검정을 통해 휘발되는 물질의 유인력 분석이 이뤄져야 한다.

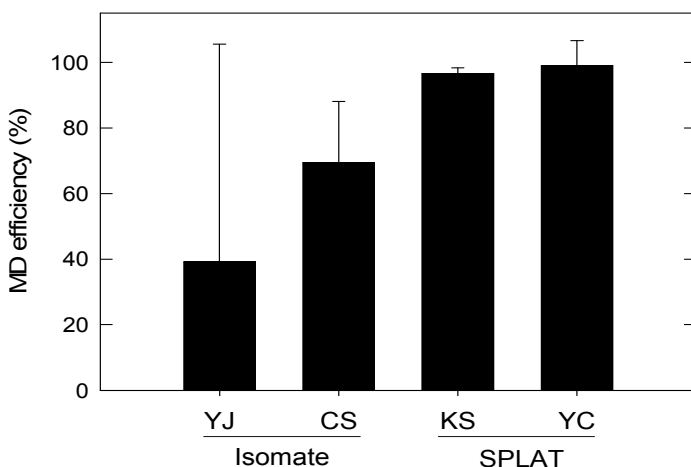


Fig. 3. Efficacy of two commercial mating disruptors ('Isomate' and 'SPLAT') on the male orientation of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, to the sex pheromone lure. Efficiency of mating disruption (MD) was estimated by relative percent reduction in the attracted males in the treated plot compared to untreated plot. 'YJ', 'CS', 'KS', and 'YC' represent Youngju, Chungsong, Kyungsan, and 'Youngchun', respectively.

Table 2. ANOVA of disrupting efficacy of two mating disruptors on male orientation of *Grapholita molesta*

Source	df	SS	MS	F	P
Treatment	3	2.044	0.681	4.48	0.0183
Mating disruptor ¹	(1)	1.900	1.900	12.49	0.0028
Within each mating disruptor ²	(2)	0.143	0.071	0.47	0.6325
Error	6	2.434	0.152		
Total	19	4.478			

¹ Isomate versus SPLAT

² Two places of each mating disruptor: Isomate at Youngju and Chungsong, SPLAT at Kyunsan and Youngchun

4. 결론

성페로몬은 같은 종끼리 교미할 때 사용하는 교신물질이다. 이 성페로몬을 이용하여 대상 종의 야외 계절적 밀도 변동을 모니터링하는 데 이용한다. 합성 페로몬을 이용하여 대상 종이 서식하는 지역에 대량을 설치하여 들판에 따라 교미교란을 꾀할 수도 있다. 이 교미교란 기술이 야외 복숭아순나방 (*Grapholita molesta*)을 방제하는 목적으로 적용되었으며, 실제로 야외에서 집단밀도 억제를 하는 데 효과적이라고 알려지고 있다. 본 연구에서는 수컷유인력 교란이라는 측면에서 기존에 주로 사용되던 Isomate[®]-M ROSSO와 다른 형태의 방출기인 'SPLAT[®]'과 야외 적용 실험을 통해 비교하였다. 이를 위해 기존 방출기인 Isomate의 과거 3년간 교미교란 효과를 분석하였고, 이후 두 가지 방출기의 비교는 여러 지역에서 지역내 반복을 설정하면서 동일 기간에 이뤄졌다. 무처리구에서 잡힌 수컷 밀도를 기준으로 복숭아순나방은 야외에서 4회 성충 발생기를 보이며, 월동세대의 밀도가 높음에 따라 이후 이어지는 생식세대의 크기가 높아진다는 정 상관관계를 보였다. Isomate 방출기는 지난 3년간 포장에서 복숭아순나방 수컷 교미행동을 유의성있게 교란한 것으로 나타났다. 두 페로몬 방출기를 비교할 경우, SPLAT이 보다 우수한 교란효과를 나타냈다. 이러한 수컷 유인력에 있어서 차이점은 이 두 방출기에 포함된 주요 페로몬 화학성분비의 차이에서 기인된 것으로 여겨진다.

제7절 암컷 유인 트랩을 이용한 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))의 교미교란제 효과 분석

1. 서론

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 방제의 의의를 갖게 하고 있다. 국내에서는 복숭아순나방은 연중 4-5회 발생하며, 복숭아는 물론이고 산업적으로 중요한 과수인 사과와 배를 가해하는 주요 나비목 해충이다(Ahn *et al.*, 1985; Yang *et al.*, 2001). 특별히 여러 심식 종류에서 알 수 있듯이 일단 과실 속으로 가해가 진행되면, 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 페로몬 조성이 밝혀졌고(Boo, 1998), 이들 페로몬 성분들이 유기합성되었으며(Kim *et al.*, 2006), 이를 이용한 야외 집단의 모니터링(Yang *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2004) 및 교미교란(Yang *et al.*, 2003; Jung *et al.*, 2006)이 시도되었다. 그러나 광범위한 면적에 대해서 교미교란제를 처리하지 않는 한, 국내 농가 현실에 비추어 특정 소규모 재배지를 대상으로 한 방제는 기술의 특성상 효과적 방제를 기대하기 어려울 수 있다. 예를 들어, 교미교란제가 처리된 재배지에서 비록 암수의 교미통신은 교란되어 효과적 교미가 이뤄지지 않을 수 있으나, 이 해충의 이동거리에 있는 타 지역 재배지로부터 교미된 암컷의 이입은 본 기술로 막을 수 없다. 그러나 다른 해충에서 보듯 여러 교미교란제의 효과분석은 암컷 또는 합성 페로몬을 미끼로 교미교란제 처리지역의 수컷 유인억제를 분석함으로써 이뤄지고 있다(Fadamiro and Baker, 1999; Baker and Heath, 2005; Jung *et al.*, 2006). 그러므로 보다 정확하고 간편한 교미교란제 처리 효과 판정은 재배지에 서식하는 암컷의 교미율을 분석에서 비롯될 수 있다(Rice and Kirsch, 1990). 본 연구는 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))을 예로서 수컷의 유인력 억제라는 단순한 교미교란 효과 분석의 문제점을 파악하고, 이를 대체하기 위한 암컷유인트랩을 이용한 교미교란제 평가법을 비교하였다. 이를 위해 복숭아순나방 월동성충세대를 방제 대상으로 3가지 다른 형태의 교미교란제를 사과원에 처리하고, 교미교란제의 효과 분석에 수컷 유인억제효과와 암컷의 교미율을 비교 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역 및 모니터링

농촌진흥청 원예연구소 사과시험장(경북, 군위 소재)의 시험포장에서 각각 2,400여평 규모의 시험구를 설치하고, 교미교란제를(아래 참조) 처리하였다. 시험구는 서로 10-20 m 정도씩 떨어져 위치하였다. 복숭아순나방 예찰 트랩은 델타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)을 이용하였으며, 여기에 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH를 각각 88.5: 5.7: 1.0%

로 포함하였다. 각 처리지역에서는 바람의 방향을 고려하여 임의의 2개 지점에 트랩을 설치하였고, 6주간(4월 29일부터 6월 9일까지) 복숭아순나방 야외집단을 모니터링하였다.

2.2. 모니터링 성페로몬 야외지속기간 결정

야외 설치된 모니터링용 방출기(고무방출기, Sigma, MO, USA)의 페로몬 잔류성을 검정하였다. 이를 위해 야외에 방치된 방출기를 2주 간격으로 수거하여 잔류량을 분석하였다. 수거된 방출기는 헥산 용매에 침적시킨 후 37°C에서 2시간동안 약 150 rpm 속도로 반응시켰다. 추출된 페로몬 성분의 가스 크로마토그래피 분석은 Focus GC (Thermo Electron co, Milan, Italy)와 DB-25 column (30 m x 0.250 mm, Agilent Technologies, Inc. Palo Alto, CA, USA)을 이용하여 오븐 온도 125°C, 흐름속도 1.0 ml/min, 주입시료량 2 μ l로 분석하였다.

2.3. 수컷반응 생물 검정법

페로몬 효과에 대한 종말점으로 수컷이 보이는 일련의 교미행동 가운데 날개운동을 이용하였다. 생물검정은 투명한 아크릴로 제작된 반응기(60x25x25 cm: 길이x폭x높이)에 수컷을 방사하고, 모두 쉬고 있는 상태에서 분석될 페로몬 방출기를 노출시켰다. 이후 10 분 내에 날개 짓을 하는 모든 개체를 세어 수컷반응으로 결정하였다. 행동시간은 처음 날개 짓을 보인 때를 의미하며, 이를 기준으로 처리별로 10 분 이내에 행동을 보인 개체수를 세었다. 생물검정은 복숭아순나방의 활동시각인 오후 8시부터 11 시까지만 실시하였다. 각 반복별로 10-15마리의 수컷을 3반복으로 분석하였다.

2.4. 암컷 내부생식기 관찰

암컷의 교미 여부를 분석하기 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.

2.5. 암컷 먹이트랩 조제 및 설치

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

2.6. 교미교란제 처리

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

MD2는 복숭아순나방 페로몬 성분(Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 85: 6: 1 질량비로 전체 페

로몬 제제의 0.0092%)에 비활성 왁스분말(99.9908%)을 혼합하여 제조한 것으로, 전체 25g의 옅은 황색 페로몬 분말이 60 well 플레이트에 도포된 형태를 갖는다. 포장 1 ha 당 35 개(87.5 mg 페로몬 성분)를 설치하였다.

MD3는 페로몬 성분(Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 87.3: 3.6: 9.1 질량비로 전체 페로몬 제제의 0.16%)에 살충제 permethrin이 6.0%, 그리고 비활성 증량제가 93.8%를 차지한 제형이었다. 포장 1 ha 당 3,000 개(150 mg 페로몬 성분)를 설치하였다.

2.7. 교미교란제 처리효과 조사

교미교란제 처리 후 1주일간격으로 처리지역의 수컷 집단 모니터링을 6주 동안 실시하였다. 모니터링 트랩설치는 상기에 기술한 바와 같이 임의 2개 지점에서 실시하였으며, 처리간 비교는 조사기간 누적 유인 수컷 밀도를 이용하였다.

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 과실(신초) (상:10-20, 중:15-30, 하:25-50)을 선발하여 총 1,000개를 조사하였다. 이 가지(과실)들에서 복숭아순나방 피해를 받은 어린 신초와 과실을 중심으로 피해수를 산출하였다.

3. 결 과

3.1. 복숭아순나방 모니터링과 교미교란제 효과

월동 복숭아순나방 성충 발생이 페로몬 트랩을 사용하여 모니터링하였다. 이를 위해 야외 사과원에서 효과적 성충 모니터링을 지속적으로 수행하기 위해 페로몬 방출기의 수명이 조사되었다(Fig. 1). 복숭아순나방 페로몬 주 성분인 (Z)-8-dodecenyl acetate를 중심으로 주요 보조 성분인 (E)-8-dodecenyl acetate의 양을 야외 노출기간을 두고 시기적으로 분석한 결과, 두 성분 모두 노출시간이 경과함에 따라 지수적으로 감소하는 것을 나타냈다. 특별히 노출 2주까지 급격한 감소이후 낮은 페로몬 잔류량(초기에 비해 약 20-30%)이 방출기에 남아있는 것으로 확인되었다. 이 낮은 페로몬 잔류량도 근거리에서 복숭아순나방 수컷을 유인하는 활성을 보였지만, 본 방출기를 야외에서 2주 이상 방치하는 것은 효과적이고 지속적 모니터링을 위해서 어렵다는 것을 나타내고 있다. 이후 모든 야외 모니터링 연구는 페로몬 방출기를 2주 이내에 교환하였다.

페로몬트랩에 유인된 수컷을 기준으로 교미교란제가 처리된 포장과 대조구 사이에 야외 복숭아순나방 발생을 조사하였다(Fig. 2). 월동 복숭아순나방은 4월 말부터 6월초 가운데 5월 한달 동안 발생하였다. 그러나 동일한 지역에서 교미교란제가 처리된 포장에서는 유인된 수컷의 밀도가 낮아 교미교란의 영향하에 있음을 보여주었다.

3.2. 복숭아순나방 암컷트랩 효율

Terpinyl acetate를 포함한 트랩은 암수 모두를 유인하였다. 연중 발생 기간 동안(5월부터 9월 중순까지) 먹이트랩 포획된 147 마리 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($X^2 = 3.669$; $df = 2$; $P = 0.160$) 평균 52.3%의 비율을 차지했다.

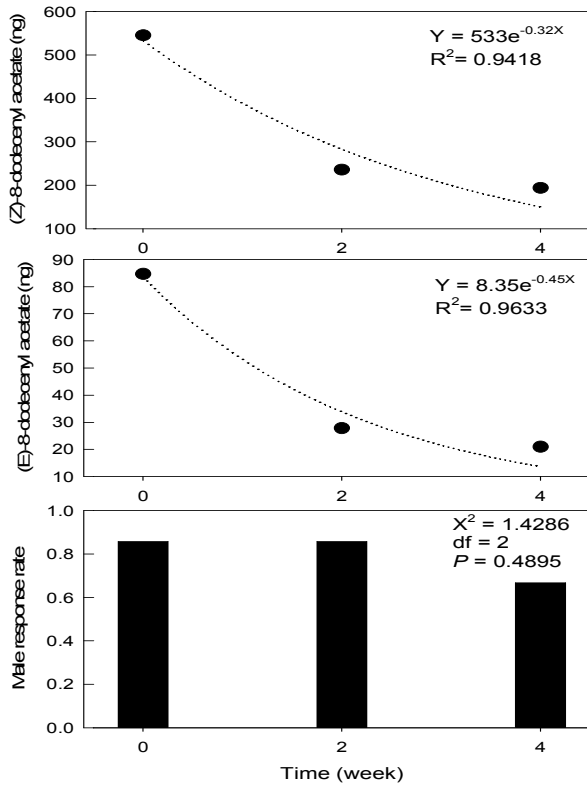


Fig. 1. Residual analysis of sex pheromone components of the Oriental fruit moth, *Grapholia molesta*, which were present in pheromone dispensers after exposure to field condition with different periods. Dot lines indicate regression lines of the observed data. The regression equations consist of the amount ('Y') of pheromone component and exposure period ('X'). The male response was determined by wing movement in response to the lure within 10 min.

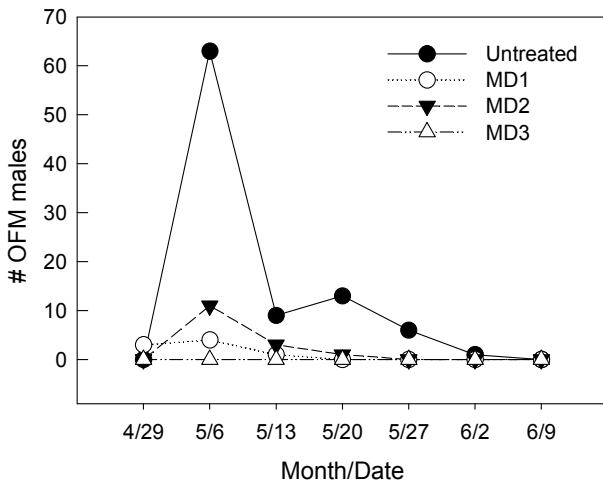


Fig. 2. Efficacy of three mating disruptors ('MD1', 'MD2', and 'MD3') on the male orientation of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, to the sex pheromone lures. Five sex pheromone traps were installed in the orchards (0.5-0.8 ha) and monitored every week during the investigation period.

트랩에 유인된 암컷의 내부생식기 구조가 관찰되었다(Fig. 3). 교미된 암컷의 교미낭에서 수컷으로 전달된 정자주머니 구조가 관찰되었다. 이들 교미낭과 정자주머니의 외부 구조를 비교하기 위해 주사 전자현미경을 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.

3.3. 두 가지 교미교란제 효과 분석 기술 비교

교미교란제가 처리된 지역과 대조구 사이에 페로몬 트랩에 유인된 밀도는 큰 차이를 보였다(Fig. 4). 그러나 암컷을 유인할 수 있는 테르피날아세테이트 트랩은 이러한 경향을 보이지 않았다. 그러나 유인된 암컷의 교미율을 분석하면, 교미교란제 처리지역에서 대조구에 비해 낮은 교미율을 보였다. 또한 교

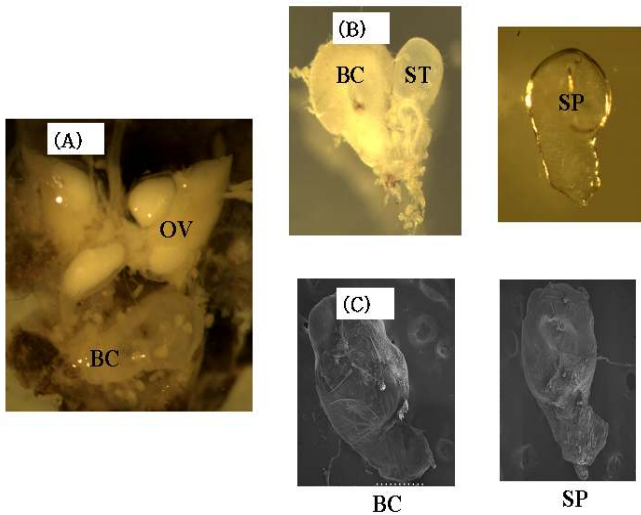


Fig. 3. Female reproductive organ of the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*. (A) Overall organ structure showing ovary ('OV') and bursa copulatrix ('BC') and (B) specific part structures of spermatheca ('ST') and spermatophore ('SP') under a light microscope at 25 x and 50 x, respectively. (C) Ultrastructures of BC and SP photographed under SEM (500 x).

미교란제 처리지역에서 대조구에 비해 낮은 신초피해를 보였다. 이들의 상호관계를 살펴보면, 페로몬트랩에 유인되는 수컷과 신초피해율 사이에는 높은 정상관관계($r = 0.9878$, $P = 0.0122$)를 보였고, 유사한 높은 정상관 관계가 암컷교미율과 신초피해율 사이($r = 0.9107$, $P = 0.0893$)에도 나타났다. 그러나 주목할 사실은 교미교란지역에서 비교적 높은 비율로 교미암컷을 포획하였고, 100%의 교미교란제 효율이 나타난 지역에서(예, 'MD3' 처리 지역) 신초피해가 있었으며, 교미된 암컷 발생이 있었다.

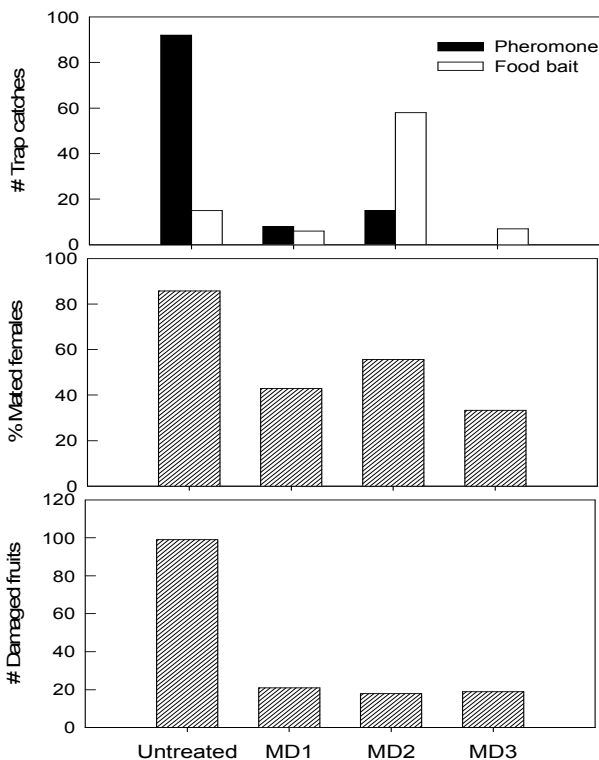


Fig. 4. Comparison of efficacy assessments of mating disruption on the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta*. (A) Two different traps were used to monitor males with pheromone bait ('Pheromone') or both sexes with terpinyl acetate ('Food bait'). The trap catches represent cumulative numbers of males 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.

4. 고찰

페로몬을 이용한 교미교란 연구가 복숭아순나방을 대상으로 국내외에서 진행되고 있다(Cardé and Minks, 1995). 이 교미교란은 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. 먼저 수컷 유인용 트랩의 유인력을 최적화하기 위해 야외 조건에서 페로몬 방출기의 페로몬 성분의 잔효기간을 결정하였고, 이를 토대로 2주 마다 페로몬방출기를 교환하여 수컷 모니터링에 있어서 페로몬 유인력의 변이 요인을 줄였다.

암컷을 유인할 수 있는 테르피닐아세테이트 트랩의 유용성이 분석되었다. 본 트랩은 성충의 섭식유인제 효과를 이용한 것으로(II'chev *et al.*, 2006) 나타난 결과에서 보듯이 암수 모두를 유인하는 것으로 판명되었다. 교미교란 효과와 본 트랩에 포획되는 성충의 밀도는 상관이 없는 것으로 나타났다. 즉, 이러한 결과는 교미교란제가 처리된 지역에서 나타나는 낮은 수컷 유인 밀도는 성충 밀도가 낮아서라기 보다는 교미교란의 효과에 기인된다는 것을 암시하고 있다. 본 연구는 또한 포획된 암컷의 내부생식기를 관찰하였고, 교미낭 구조와 정자주머니 구조를 관찰하여, 이를 복숭아순나방 암컷의 교미율을 결정하는 형태적 지표로 이용하게 하였다.

세 가지 상이한 교미교란제의 효과를 페로몬 트랩에 유인되는 수컷의 포획 밀도로 판정하여 보면 월동세대의 복숭아순나방의 교미교란을 유발시켰다. 즉, 세 가지 교미교란제 처리는 교미교란효과 및 암컷 교미율 억제 효과에서 모두 통계적으로 차이가 없이 대조구에 비해 월등한 차이를 보였다. 본 연구에서의 'MD1'과 유사한 형태의 처리가 복숭아순나방을 대상으로 처리되었으며, 수컷의 유인력 억제는 물론이고 작물피해를 현격하게 줄였다는 보고가 있다(Kovanci *et al.*, 2005; Jung *et al.*, 2006). 일부 풍동장치를 이용하여 분석한 결과 복숭아순나방은 합성페로몬의 자취에 성공적으로 유인된다는 결과를 보여줌으로(Sanders and Lucuik, 1996) 자연계에서 암컷오류인식 및 자취 추적에 따라 교미교란 효과가 유발되었을 것으로 추정된다.

그러나, 암컷 포획 트랩에 유인된 암컷을 분석한 결과 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 분석하고 자 한다. 복숭아순나방에 기인된 작물피해를 우선 교미교란제 효과 판정의 기준으로 삼을 수 있다. 효과적 교미교란제를 선별하는 데 기준은 이 기술을 적용한 포장에서 작물의 피해를 억제함으로써 방제의 목적을 달성하게 하여야 된다. 본 연구에서처럼 페로몬 트랩에 유인되는 수컷이 적거나 없는 경우 작물의 피해가 일어났다면 이는 성공적 교미가 처리 포장에 있었다는 가설과 외부로부터 교미된 암컷이 처리포장으로 유입되었다는 가설로 나누어서 생각해볼 수 있다. 이는 처리 시기가 월동세대를 겨냥하였기 때문에 포장 내에서 이전 세대에 잔류하는 유충이 없었을 것이고, 작물피해의 결정이 교미교란제 처리이후에 발생한 신초를 대상으로 분석되었기에 당시의 월동세대에 국한된 처리 효과 분석으로 볼 수 있기 때문이다. 대조구에서 암컷의 교미율이 약 80% 이상인 반면에 교미교란제 처리 포장에서는 약 40%를 보이고 있어, 상당한 숫자의 교미된 암컷이 교미교란제 처리된 포장에 존재하였다고 볼 수 있다. 포장의 조건은 처리된 포장이 대조구에 비해 근거리에 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 비행한다(Rochschild and Vickers, 1991). 이러한 인접 무처리 지역으로부터 교미 암컷의 유입을 억제하기 위한 노력으로 처리지역 가장자리에 집중적으로 교미교란제를 배치함으로써 바람의 방향에 따라 교미교란 효과가 낮아질 수 있는 사각지역을 보호하며, 인근의 암컷의 유입을 현격하게 줄일 수 있었다고 보고되었다(II'ichev *et al.*, 2004).

이상의 결과들을 종합하여 보면, 수컷 유인트랩으로 측정된 교미교란 효과를 살펴보면, 처리지역에서

교미교란 효과가 있었다는 것을 증명하고 있다. 그러나, 복숭아순나방의 이동성을 고려하여 볼 때 광범위한 지역에서 교미교란제 처리되지 않는 한 이웃의 무처리지역 또는 다른 화학농약 처리 지역에서 교미된 암컷이 유입될 수 있음을 암컷 유인트랩의 결과는 암시하고 있다. 추후 교미교란제 처리 지역에 대한 효과적 교미교란 효과를 기대하기 위해서 이러한 주변 지역으로부터 복숭아순나방의 이동을 억제할 수 있는 방제 전략이 수립되어야 한다고 본 연구는 제시하고 있다.

5. 결론

합성 성페로몬을 이용한 교미교란 방제 기술은 수컷의 교미행동을 교란시키는 데 목적을 두고 있다. 따라서 교미교란제의 효능 분석은 수컷의 유인력 감소에 초점을 두고 있다. 그러나 이러한 교미교란 효능 분석 결과가 반드시 작물의 피해 정도를 대변하지 못했다. 그럼으로 작물피해와 연관지어 보다 바람직한 교미교란 분석은 암컷의 교미율 분석이 될 수 있다. 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 연결시키는 데 의미가 있다는 것을 보여주었다.

제8절 두 종의 사과 심식나방류[복숭아순나방(*Grapholita molesta*), 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)] 진단용 DNA 분자지표

1. 서론

분자유전학적 기술의 비약적인 발전으로 다양한 생물 종에 대한 객관적이면서도 정밀한 비교를 가능하게 하는 여러 기술들이 축적되었다. 그 대표적인 것이 RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism)로서 일련의 DNA 사슬을 제한효소로 처리했을 때 생기는 DNA단편들이 개체간의 유전적 조성의 차이 즉 염기서열상의 차이에 따라서 그 수나 길이가 서로 다르게 나타난다는 사실에 기초한 방법으로 집단 및 진화적 유전연구, 형질개량연구의 유전적 식별, 유전자 분리 및 클로닝을 위한 표식 등 다양하게 이용되고 있다 (Neale and Williams, 1991; Haymer, 1994).

모든 진핵생물의 세포내에 에너지 대사에 관여하는 세포내 소기관인 미토콘드리아는 핵 DNA와는 독자적으로 자기복제 능력을 가지고 있으며 세포질에 존재한다. 이 미토콘드리아 DNA (mtDNA)는 작은 크기 때문에 1970년대 후반 DNA염기서열 결정기술의 급속한 발전으로 가장 먼저 연구된 핵산 분자들 중의 하나이다. 특히 동물의 mtDNA는 보통 15 내지 20 Kb의 비교적 짧은 환상의 구조를 가지며 (Avisé *et al.*, 1987; Moritz *et al.*, 1987), 이 구조 내에 13개의 단백질, 2개의 ribosomal RNAs, 22개의 transfer RNAs에 관한 유전정보를 가진다. 또한 AT서열이 많은 나타나는 영역을 지니고 있으며, 이 영역은 주로 mtDNA의 복제 원점으로 작용하게 된다(Brown, 1985). 초파리류인 *Drosophila yakuba*의 mtDNA의 전체 염기서열이 밝혀져 있으며 (Clary and Wolstenholme, 1985), 이 외에도 *D. virilis* (Clary and Wolstenholme, 1987), *D. melanogaster* (de Bruijn, 1983; Satta *et al.*, 1987; Garesse, 1988), *Aedes albopictus* (HsuChen and Dubin, 1984; HsuChen *et al.*, 1984), *Apis mellifera* (Vlasak *et al.*, 1987), *Locusta migratoria* (McCracken *et al.*, 1987; Uhlenbusch *et al.*, 1987), *Pyrocoelia rufa* (Bae *et al.*, 2004) 등 약 20종의 곤충 mtDNA 전체 염기서열이 밝혀져 있다. 비교적 매우 높은 A+T 염기 조성을 갖는 곤충의 mtDNA는 비교적 작은 크기, 세포내 많은 복제수, 세포질 유전자로서 생식세포를 만들 때 유전자 재조합이 일어나지 않는 대신 돌연변이가 일어날 확률이 핵 DNA에 비해 높은 특징들 때문에 집단간 비교연구에 많이 이용되고 있다 (Harrison, 1989; Simon, 1991; Wolstenholme, 1992). 특히 mtDNA의 부위별로 낮은 변이를 보이는 영역으로부터 비교적 변이가 높은 영역까지 보존성이 다양하여 비교하고자 하는 분류군의 차이 정도에 따라 선택된다 (Simon *et al.*, 1994).

사과를 가해하는 주요 해충으로는 잎의 기능을 저해시키는 응애, 진딧물, 굴나방류와 잎이나 연한 순 또는 열매를 가해하는 잎말이나방류와 함께 열매 내부를 직접 가해하는 심식나방류가 있다(Ahn *et al.*, 1985). 심식나방류는 발생 밀도도 높고 경제적으로 가장 큰 피해를 주는 해충으로서 이들 가운데 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))과 복숭아심식나방(*Carposina sasakii* (Matsumura))이 대표적인 종이다(Park *et al.*, 1977). 특별히 여러 심식류에서 알 수 있듯이 일단 과실 속으로 가해가 진행되면, 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).

복숭아순나방은 중국 서북지역에서 유래되어 현재는 아시아, 유럽, 아메리카, 북부 아프리카, 중동, 뉴질랜드와 호주의 핵과류 과실에 피해를 주고 있으며(Roerich, 1961; Rothschild and Vickers, 1991), 복숭아는 물론이고 산업적으로 중요한 과수인 사과와 배를 가해하는 주요 나비목 해충이다(Ahn *et al.*, 1985). 복숭아순나방은 4월 중순에서 9월 중순까지 4-5회의 성충발생 피크를 보인다. 유충은 과실을 가해할 때 배설물은 침입공 주변으로 배출하는 습성을 보인다(사과나무종합병원: <http://www.iloveapple.co.kr>). 반면에, 복숭아심식나방은 한국과 일본을 중심으로 분포하고 있으며, 사

과의 열매가 나타나는 6월 상순에서 8월 하순까지 2회의 성충 발생 피크를 보인다. 유충의 과실 가해 습성은 복숭아순나방과는 달리 배설물을 과실 밖으로 내보내지 않는다(사과나무종합병원: <http://www.iloveapple.co.kr>). 두 해충의 지리적 분포 차이 능력은 페로몬 조성에서도 나타나, 복숭아순나방의 경우는 거의 모든 지역에서 유사한 페로몬 성분 조성비를 보여, 이 종이 넓은 지역에 분포할 수 있는 성질을 잘 대변하는 반면, 복숭아심식나방의 경우 한국과 일본 사이에서도 조성 성분비 차이를 보여 주었다(Boo, 1998).

국내 사과를 대만이나 미국으로 수출하는 경우 복숭아심식나방은 대상국의 주요 검역대상이 되므로서 수입국의 요구 사항에 따른 제반관리를 실시하고 식물검역소 주관으로 식물위생증명서를 발급받아야 한다(수출식물검역: <http://www.npqs.go.kr>). 그러나 열매를 직접 가해하는 복숭아심식나방이 유충시기에 과실에서 발견되는 경우 복숭아순나방과의 구분이 형태적으로 어렵다. 따라서 국내 생산지에서 복숭아심식나방 발생이 없어서 식물위생증명서를 발급 받더라도, 국내 또는 수입국의 통관 검역지소에서 실시되는 현장 검증에서 어린 복숭아순나방이 복숭아심식나방으로 오인되어 대량으로 반포될 수 있는 가능성이 속출하게 된다.

본 연구는 사과의 수출입 통관 검역지소에서 발생될 수 있는 복숭아순나방과 복숭아심식나방의 정확한 종 동정을 위한 분자지표를 개발하는 데 목적을 두었다. 이를 위해 비교적 중간 변이가 뚜렷한 미토콘드리아의 영역을 대상으로 PCR-RFLP 기술과 종특이적 프라이머를 이용한 PCR 증폭기술을 개발하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시험곤충 및 DNA 추출

유전자 분석을 위한 시료로서 경북 군위에 위치한 원예연구소 사과시험장에서 복숭아순나방과 복숭아심식나방 페로몬 트랩에 각각 포획된 수컷 성충을 이용하였다. 포획된 성충의 끈끈이물질을 제거하기 위해 헥산에 침지시켰으며, 이를 다시 에탄올로 치환한 후 DNA 추출에 이용하였다. 날개를 제거한 각 성충을 400 μ l의 추출완충용액(10 mM Tris, 0.1 M EDTA, 20 μ g/ml RNase, 0.5% SDS, pH 8)에서 분쇄한 후, 5 μ l의 proteinase K (최종농도 100 μ g/ml)를 첨가하여 50 $^{\circ}$ C 항온수조에서 10분간 반응시켰다. 이후 페놀추출을 실시하였다. 즉, 같은 부피의 phenol:chloroform:isoamyl alcohol (25:24:1, v:v:v) 용액을 첨가한 뒤 12,500 x g로 2분 동안 원심 분리하여 상등액을 취하는 과정을 2회에 걸쳐 행하였다. 다시 같은 부피의 chloroform:isoamyl alcohol (24: 1, v:v)을 첨가한 뒤 12,500 x g에서 2분 동안 원심분리 후 상등액을 취하였다. 이 상등액에 40 μ l의 10M ammonium acetate를 넣은 후 총 시료의 2배 부피에 해당하는 100% 에탄올(-20 $^{\circ}$ C)을 첨가한 후 -20 $^{\circ}$ C에서 10분 동안 반응시켰다. 이후 12,500 x g에서 10분간 원심분리한 뒤 침전물을 받았다. 여기에 70% 에탄올(-20 $^{\circ}$ C)을 첨가하고 12,500 x g로 3분 동안 원심분리 및 침전물을 건조시킨 후 50 μ l의 3차증류수로 DNA를 녹여서 추출하였다.

2.2. mtDNA 영역 polymerase chain reaction (PCR)

미토콘드리아 DNA 가운데 cytochrome oxidase-I (COI), cytochrome B (CYT-B), 16S rRNA 영역을 universal primers를 바탕으로(Table 1)으로 Kim *et al.* (1998)의 방법으로 증폭하였다. 각 PCR 시료의 구성은 다음과 같다. DNA 추출액 2 μ l, dNTP 5 μ l, 10x PCR 완충용액 5 μ l, primer 각각 2 μ l (25 pmol/ μ l), Tag polymerase 0.5 μ l, 3차증류수 33.5 μ l로 구성되었다. Primer와 Tag

polymerase는 (주) 바이오니아(대전, 한국)로 부터 제작 또는 구입하였다. PCR 반응조건은 초기 94°C에서 1분간 불활성단계를 거친 후, 35 반복으로 증폭 단계를 거쳤다. 증폭과정은 94°C에서 30초간 변성단계와 72°C에서 1분 30초의 사슬연장 단계는 동일하나, 프라이머 결합 반응은 프라이머별로 상이하 여 COI 영역은 48°C에서 30초, CYT-B 영역과 16S rRNA 영역은 56°C에서 30초간 이뤄졌다. 이후 최종 사슬연장 단계가 추가로 72°C에서 10분간 이뤄졌다. PCR 생성물은 1x TAE (40 mM Tris-acetate, 1 mM EDTA, pH 8.0)에서 1% 아가로즈젤로 확인하였다.

Table 1. Primers used for cloning different mitochondrial DNA regions of *Grapholita molesta* and *Carposina sasakii*

Primers ¹	Sequence
C1-J1751	5'-GGATCACCTGATATAGCATTTCCC-3' (23mer)
TL2-N3014	5'-TCCAATGCACTAATCTGCCATATTA-3' (25mer)
CB-J10933	5'-TATGTTTTTACCATGAGGACAAATATC-3' (26mer)
CB-N11367	5'-ATAACTCCTCCTAATTTATTAGGAAT-3' (26mer)
SR-J14233	5'-AAGAGCGACGGGCGATGTGT-3' (20mer)
SR-N14588	5'-AAACTAGGATTAGATACCCTATTAT-3' (25mer)

¹ Primers are named by a trinomial method (gene-strand-3' end) of Simon *et al.* (1994). All sequences and their locations of the genes are designed on the basis of the published *Drosophila yakuba* sequence (Clary and Wolstenholme, 1985). 'J' denotes the major strand to be transcribed and 'N' is the opposite minor strand.

2.3. mtDNA 영역 염기서열 분석

mtDNA 영역별 PCR 증폭물은 PCRquick-spin ((주) 인트론바이오테크놀로지, 대전)을 이용하여 프라이머를 제거시켰고, PCR2.1 TOPO kit (Invitrogen, Carlsbad, USA)를 사용하여 클로닝벡터에 재조합시켰다. 재조합된 벡터를 (주) 마크로젠(서울)에 염기서열 분석을 의뢰하여 받은 자료를 가지고 DNASTAR 프로그램(Version 5.01, DNASTAR Inc., Madison, USA)을 이용하여 단일염기서열로 정리하였고, 유사종과 근연관계를 알아내기 위해 NCBI Genbank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)의 Blast 프로그램을 이용하였다.

2.4. PCR-RFLP

상기에 기술한 PCR 조건으로 얻어진 영역별 PCR 증폭물은 PCRquick-spin으로 프라이머 제거 및 증폭물을 다시 증류수로 용해시켰다. 이 시료를 영역별로 서로 다른 제한효소를 처리하는 데, 이때 COI 영역은 *Dde* I, CYT-B 영역은 *Taq* I, 16S rRNA 영역은 *Sau* 3A로 효소의 구입처인 바이오니아 제조회사의 반응조건에 따라 37°C에서 3시간동안 처리하였다. 제한효소 처리물은 1x TAE에서 1.2% 아가로즈젤로 분리한 후 ethidium bromide로 염색 및 UV등에서 확인하였다.

2.5. 진단용 PCR primer를 이용한 PCR

COI 영역 안에서 복숭아순나방과 복숭아심식나방에서 특별히 차이가 나는 부분을 찾아 primer를 제작하였다(Table 2). 각 PCR 시료의 구성과 반응은 상기에 기술된 조건을 따랐다. 단, 프라이머 결합 반응은 56°C에서 30초 동안 이뤄졌다. PCR 생성물은 1X TAE에서 1% agarose 젤로 확인하였다.

Table 2. Species-specific primers used for diagnostic PCR amplification between *Grapholita molesta* and *Carposina sasakii*

Primer	Sequence	Description
Gm_DI-FP	5'-GATTTTGATTATTACCTCCTTCT-3'	Diagnosis of
Gm_DI-RP	5'-CCAGCTAATACTGGTAGTGAAAGT-3'	<i>G. molesta</i>
Cs_DI-FP	5'-GATTTTGACTGCTTCCCCCGTCA-3'	Diagnosis of
Cs_DI-RP	5'-CCAGCAAGAAGTGGGAAGAGATAAA-3'	<i>C. sasakii</i>

3. 결과 및 고찰

3.1. mtDNA 영역별 염기서열 및 종간 다형부위

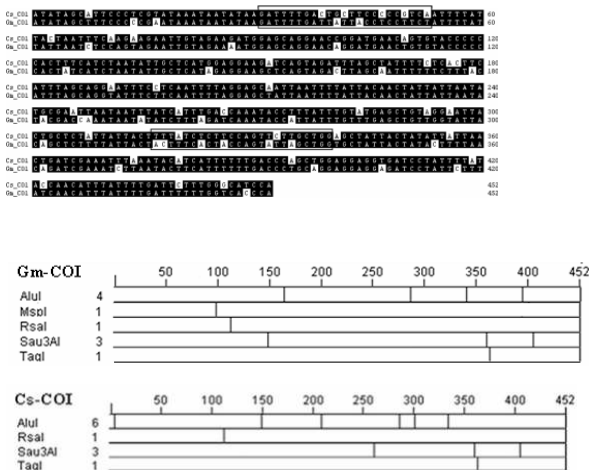


Fig. 1. (Upper) DNA sequences of *Grapholita molesta* ('Gm') and *Carposina sasakii* ('Cs') at cytochrome oxidase-I ('COI') locus of mitochondrial DNA. Unshaded areas indicate point mutations. Two squares denote the gene-specific forward and reverse primers of each species. (Lower) Restriction maps of COI of the two species, at which restriction frequency and locations are denoted. The sequence of *G. molesta* was obtained from NCBI DNA database with accession number of AF499023. The sequence of *C. sasakii* is deposited to NCBI Genbank with an accession number of EF684934.

복숭아순나방과 복숭아심식나방의 DNA 분자지표를 개발하기 위해 mtDNA 영역을 설정하였고, 이 가운데 검역에 있어서 종 구분에 많이 이용되는 COI 영역을 중심으로 염기서열이 분석되었다(Fig. 1). 두 종의 염기서열은 국내에서 채집된 두 개체를 중심으로 분석되었으며, 염기서열은 기존에 밝혀진 복숭아순나방을 포함한 다른 종들의 COI과 높은 상동성을 보였다(미보고자료). 두 종 사이에는 전체 452개 염기 가운데 67 곳에서 차이를 보여 14.8%의 변이를 보였다(Fig. 1 upper). 이 변이 부위는 점돌연변이로 분석하면 transition 돌연변이가 38.8%이고, transversion 돌연변이가 61.2%로 나타났다. 자연히 제한효소의 위치와 밀도에 있어서도 차이를 나타냈다(Fig. 1 lower). 검역 대상이 되는 여러 해충에서 미토콘드리아의 COI 영역이 DNA 분자지표를 개발하는 데 이용되었다. 예를 들어 *Tetranychus* 응애류(Lee and Lee, 1997), *Bactrocera* 과실파리류(Mun *et al.*, 2000), *Liriomyza* 굴파리류(Scheffer *et al.*, 2001) 그리고 잎말이나방류(Sperling and Hickey, 1995)에 대해 적용되었다.

NADH와 같은 다른 미토콘드리아 영역들도 검역 해충 판별에 유용하다는 것이 *Rhagoletis* 과실파리류에서 증명되었다(Salazar *et al.*, 2002). 본 연구에서는 CYT-B가 분석되었다(Fig. 2). 이 영역에서 두 종 염기서열은 기존에 밝혀진 다른 종들의 CYT-B와 높은 상동성을 보였다(미보고자료). 두 종 사이에는 전체 485개 염기 가운데 72 곳에서 차이를 보여 14.8%의 변이를 보였다(Fig. 2A). 이 변이 부위는 점돌연변이로 분석하면 transition 돌연변이가 37.5%이고, transversion 돌연변이가 61.1% 그리고 한 곳에서 결실이 나타났다. 자연히 제한효소의 위치와 밀도에 있어서도 차이가 있어 *Taq I* 경우 뚜렷한 제한위치 차이로 진단용 분자지표로 개발하게 할 수 있게 했다(Fig. 2B).

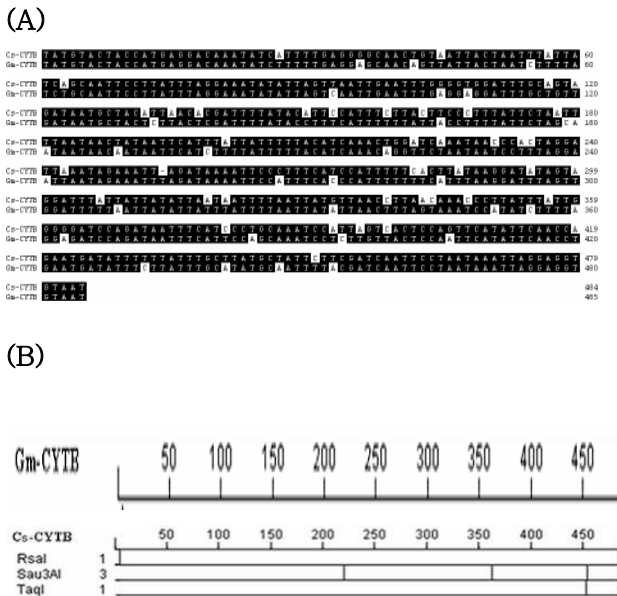


Fig. 2. (A) DNA sequences of *Grapholita molesta* ('Gm') and *Carposina sasakii* ('Cs') at cytochrome b ('CYTB') locus of mitochondrial DNA. Unshaded areas indicate point mutations. (B) Restriction maps of CYTB of the two species, at which restriction frequency and locations are denoted. Both sequences are deposited to NCBI Genbank with accession numbers of EF684936 and EF684935, respectively, to Gm and Cs.

또 다른 다형 부위로서 16S rRNA 영역에서 두 종 사이의 염기서열이 분석되었다(Fig. 3). NCBI 유전자검색을 통해 이 염기서열들이 다른 종의 해당 염기서열과 유사성을 보였다(미보고자료). 두 종 사이에서는 전체 395개 염기 가운데 40 곳에서 차이를 보여 10.1%의 변이를 보였다(Fig. 3A). 이 변이 부위는 점돌연변이로 분석하면 transition 돌연변이가 20.0%이고, transversion 돌연변이가 72.5% 그리고 세 곳에서 결실이 나타났다. 자연히 제한효소의 위치와 밀도에 있어서도 차이가 있어 *Sau 3A* 경우 뚜렷한 제한위치 유무로 진단용 분자지표로 개발하게 할 수 있게 했다(Fig. 3B).

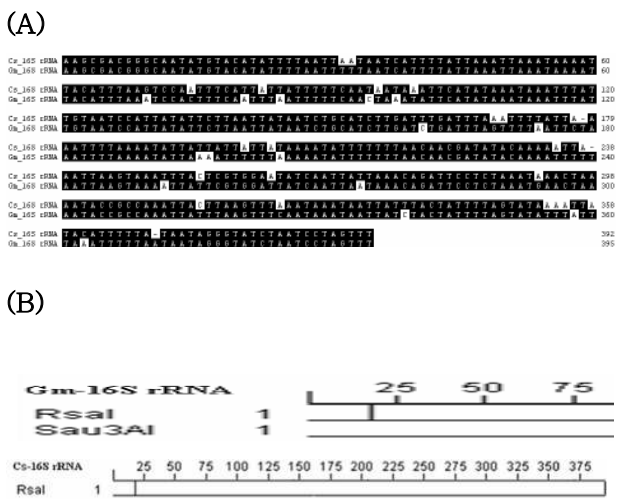


Fig. 3. (A) DNA sequences of *Grapholita molesta* ('Gm') and *Carposina sasakii* ('Cs') at 16S rRNA locus of mitochondrial DNA. Unshaded areas indicate point mutations. (B) Restriction maps of 16S rRNA of the two species, at which restriction frequency and locations are denoted. Both sequences are deposited to NCBI Genbank with accession numbers of EF684938 and EF684937, respectively, to Gm and Cs.

3.2. 진단용 DNA 분자지표

PCR-RFLP를 위한 진단용 분자지표가 이상에서 밝혀진 염기서열을 바탕으로 개발되었다(Fig. 4). RFLP의 판단을 용이하게 하기 위해 제한위치의 유무에 따라 종 구분을 할 수 있게 각 영역별 제한효소를 선별하였다. 또한 이 세 가지 PCR-RFLP에서는 복숭아순나방은 절편을 만들도록 하였고, 복숭아심식나방은 제한위치가 없거나 또는 말단에 위치하여 전기영동 상에서는 거의 단일밴드가 나타나도록 제작하였다. COI 영역은 염기서열보다 연장된 증폭물을 얻었고 부분적 염기서열을 분석하였다(미보고자료). 이 증폭물은 *D. yakuba*의 mtDNA 염기서열(Clary and Wolstenholme, 1985)을 바탕으로 일부 tRNA 영역이 포함하였다. 이때 *Dde* I의 제한효소가 염기서열 자료를 볼 때 복숭아순나방에서는 두 곳 이상에서 제한위치를 갖으나, 복숭아심식나방의 경우 제한위치가 없어 이상적 진단 좌위로 선별했다. 시험결과 10반복 모두 복숭아순나방은 절편을 보이나, 복숭아심식나방은 절편형성을 하지 못하여 뚜렷한 종 차이를 보였다. CYT-B는 염기서열 분석에서 차이가 나타난 *Taq* I을 이용하여 중간 구분을 하였다. 예상된 위치에서 복숭아순나방은 절편을 형성하였고, 복숭아심식나방은 미절편상태를 유지하였다. 16S rRNA 영역도 염기서열 분석을 토대로 선정된 *Sau* 3A가 예상된 위치에서 복숭아순나방은 절편을 보이나, 복숭아심식나방은 절편형성을 하지 못하여 뚜렷한 종 차이를 보였다.

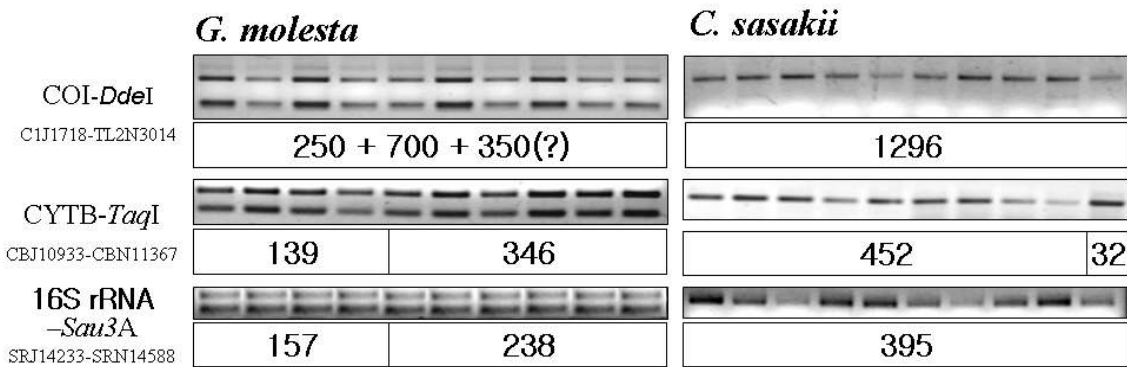


Fig. 4. DNA markers to diagnose *Grapholita molesta* and *Carposina sasakii* using PCR-RFLP at three mitochondrial DNA loci. Forward and reverse primers are denoted under each locus name and explained in Table 1. Figures in the boxes indicate the expected sizes of the digested DNA fragments.

이상의 PCR-RFLP 분자지표는 PCR 이후 제한효소 처리라는 시간을 요구하게 된다. 이 분석시간을 줄이려는 의도로 종특이적 PCR 프라이머를 이용하여 PCR 단계에서 종을 구분하려는 검역 기술이 모기류에서 적용되었다(Fettene and Temu, 2003; Kampen *et al.*, 2003). 본 연구에서는 종간변이에 자주 이용되는 COI 영역에서 두 종 사이에 변이가 많이 일어나는 부위를(Fig. 1) 중심으로 종특이적 프라이머가 제작되었다(Table 2). 이 종특이적 프라이머를 이용하여 복숭아순나방과 복숭아심식나방을 적용하여 본 결과 서로의 종을 진단할 수 있는 분자지표로서 이용될 수 있음을 보였다(Fig. 5).

본 연구는 국내 사과 심식류인 복숭아순나방과 복숭아심식나방을 구분할 수 있는 진단용 분자지표로서 총 3종의 PCR-RFLP 유전좌위 및 2종의 진단용 PCR 프라이머를 제공하고 있다. 이 이외에 보다 신속한 종 진단 검역기술로서 실시간 정량 PCR 기술이 개발되어 사과 나방류 진단용(Barcenas *et al.*, 2005)으로 개발될 수 있다. 이 기술은 본 연구와 같은 종 특이적 프라이머를 바탕으로 실시간 정량 PCR을 실시할 경우, 검역 대상 해충의 증폭물은 자신의 프라이머이기에 빠르게 증폭되어 임계치를 통과하는 반면 다른 유사종인 경우는 임계치에 다다르지 못하거나 늦게 이르게 된다는 사실에 기초하였

다. 즉, 이 기술을 이용할 경우 다시 PCR 시간 단축은 물론이고, 전기영동하는 시간까지 단축시켜주는 기술적 진보를 이룰 수 있다. 본 연구에서 개발된 종 특이적 프라이머는 이러한 실시간 정량 PCR 진단법에도 필요에 따라 응용될 수 있다.

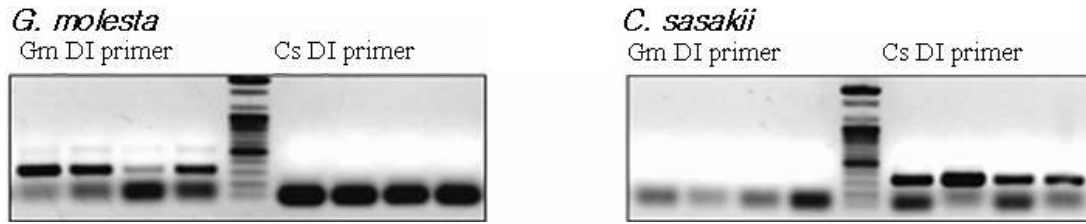


Fig. 5. DNA markers to diagnose *Grapholita molesta* ('Gm') and *Carposina sasakii* ('Cs') using diagnostic PCR primers at cytochrome oxidase-I locus of mitochondrial DNA. The primers are explained in Table 2.

4. 결론

국내 서식하는 복숭아순나방(*Grapholita molesta* (Busck))과 복숭아심식나방(*Carposina sasakii* (Matsumura))의 유충은 사과 과실내부를 섭식하여 피해를 주는 해충이다. 사과를 수출할 때 복숭아심식나방은 수출대상국들로부터 검역 대상해충이다. 반면에 복숭아순나방은 광범위한 분포로 비교적 수입국으로부터 검역 대상 해충은 아니지만, 사과 과실 내부에서 발견되는 경우 복숭아심식나방으로 오인될 수 있다. 이는 발견되는 유충을 가지고 형태적으로 두 종을 구분하기 어렵기 때문이다. 특별히 수입국 검역단계에서 이러한 불완전한 동정 실패는 수출 사과의 폐기 또는 반송과 수출중단 등과 같은 막대한 경제적 손실을 초래하게 된다. 이에 이들을 구분할 수 있는 분자지표 개발이 요구되었다. 두 종의 미토콘드리아 DNA를 대상으로 다형을 보이는 여러 영역의 염기서열을 분석하였다. 이 서열을 바탕으로 진단용 제한위치가 결정되고 종 특이적 프라이머가 제작되었다. 본 연구는 세 부위의 종 특이적 제한효소 위치에 따라 PCR-RFLP 기술과 종 특이적 프라이머를 이용하여 진단용 PCR 기술을 개발하였다.

제9절 재배환경이 상이한 두 사과 과원의 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 집단 에 대한 교미교란제 처리와 이에 따른 기주 피해 억제 효과 비교

1. 서론

교미교란제는 대상 해충의 성페로몬을 유기 합성하여 서식지에 대량 살포하여 줌으로 발생지역의 암수 교미통신을 방해하는 전략으로 개발된 해충방제 기술이다(Baker and Heath, 2005). 성페로몬이 종 특이적이며 극미량으로도 암수의 통신에 효과적으로 이용된다는 점에서 이를 응용한 방제 기술 개발이 기대될 수 있다(Boo *et al.*, 2005). 특히, 나방류의 경우 비교적 해가 진 저녁 무렵부터 다음날 해가 뜨기 전 새벽까지 시각보다는 주로 성페로몬이라는 후각에 교미통신을 의존하기 때문에 성페로몬을 이용한 교미교란은 더욱 효과적일 수 있다(Cardé and Mink, 1995). 여기에 비록 성페로몬이 화학물질이지만 비교적 극미량으로 살포되고 또한 휘발성으로 잔류성이 없기 때문에 방제효과만 보장된다면 환경 친화형 해충방제 기술로서 농가 적용이 가능하게 된다. 이에 대한 적용 가능한 해충으로 최근 들어 사과원의 과실피해를 주고 있는 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)이 주목받고 있다(Kim *et al.*, 2007b).

복숭아순나방은 연중 4-5회 성충 발생 피크를 보이며 유충은 사과나 배 등 핵과류의 과실을 직접 가해하는 일차해충이다(Ahn *et al.*, 1985). 사과의 경우 과실에 직접피해를 주는 나방류는 복숭아순나방과 더불어 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)을 포함하는 데, 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 서식하기 때문에 살충제의 직접 접촉이 어렵고, 이에 따른 다량 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 하나로써 교미교란이 제안되었고, 외국의 경우 포장에서 집중적으로 현장 검증이 이루어졌다. 다량의 합성페로몬을 처리하는 경우 수컷으로 하여금 암컷의 탐색 능력을 저하시키고, 이러한 효과가 화학농약의 방제효과와 견줄 수 있다고 보고하였다(Rothschild, 1975, 1979).

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 복숭아순나방의 페로몬 화합물 유기합성 기술 개발(Kim *et al.*, 2006)과 상품화된 교미교란제를 이용하여 월동세대에 대한 효과적 교미교란 가능성을 보여 주었다(Jung *et al.*, 2006). 그러나 교미교란을 이용한 복숭아순나방의 방제 기술을 국내에 이상적으로 적용하기 위해서는 국내 사과 농가의 현실을 고려한 특유의 방제 기술이 요구되고 있다. 즉, 외국에 비해 영세 규모의 국내 개별 사과 면적 규모와 타 사과원과의 인접성은 화학농약과 달리 단독 농가의 교미교란 처리가 기대되는 효과를 거두기 힘들 수 있다. 이는 복숭아순나방의 교미반경이 개별 농가의 사과원 규모보다 충분히 클 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 이러한 국내 사과원 농가를 직시하고, 여기에 재배환경에 있어서 상이한 두 사과 과원을 선발하여 동일한 교미교란제를 처리한 후 나타나는 복숭아순나방 방제 효과를 사과 기주 피해율로 측정하여 분석하였다. 이를 토대로 본 연구는 교미교란제를 국내 농가에 처리할 경우 고려해야 될 방향을 선정하려 시도되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 처리지역 및 복숭아순나방 야외집단 모니터링

국내 사과 집중 재배 지역 가운데 청송과 영주의 2개 지역에서 재배환경이 차이가 있는 두 포장을 선발하였다(Fig. 1). 청송 포장은 처리 포장 면적이 약 1 ha이고 무처리 포장 규모는 약 0.4 ha였다(Fig. 1A). 품종은 후지, 쓰가루 및 홍로가 혼재하였고 대목은 MM106과 M9이 이용되었다. 개화 시기는 4월 28일경에 이뤄졌다. 영주 포장은 처리 포장 면적이 약 0.67 ha이고 무처리 포장 규모는 약 0.4 ha였다(Fig. 1B). 품종은 후지, 쓰가루 및 홍로가 혼재하였고 대목은 M9이 이용되었다. 개화 시기는 4월 20일경에 이뤄졌다. 조사기간 동안 두 포장은 6월에 진딧물 살충제 1회(imidacloprid) 그리고 살비제(flufenoxuron과 ethofenprox)가 5-7월 기간에 3-4회 살포되었다.

복숭아순나방 예찰 트랩은 델타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)을 이용하였으며, 여기에 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH를 각각 88.5: 5.7: 1.0%로 포함하였다. 각 처리지역에서는 바람의 방향을 고려하여 임의의 5개 지점에 트랩을 설치하였고, 야외 복숭아발생 전 기간(4월 13일부터 10월 21일까지) 복숭아순나방 야외집단을 모니터링하였다.

2.2. 교미교란제 처리

상용화된 Isomate[®] ROSSO OFM (CBC, Tokyo, Japan)의 교미교란제가 두 포장에 각각 처리되었다. Isomate는 밀봉된 폴리에틸렌 튜브에 페로몬이 들어 있는 형태로 가지에 고리형태로 꼬아서 처리하였다. 각 튜브에는 264.3 mg의 페로몬성분이 들어있으며, 이는 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 88.5: 5.7: 1.0%로 차지하고, 기타 불활성 성분이 4.8%가 함유되었다. 각 사과나무에 1개씩 처리되었으며, 포장 1 ha에 약 600개(약 160 g 페로몬 성분)가 설치되었다.

2.3. 교미교란제 처리효과 조사

교미교란제 처리 후 1주일간격으로 처리지역의 수컷 집단 모니터링이 전체 조사기간 동안 실시되었다. 모니터링 트랩설치는 상기에 기술한 바와 같이 임의의 5개 지점에서 실시되었으며, 처리간 비교는 조사기간 누적 유인 수컷 밀도를 이용하였다.

교미교란제 처리 효과를 과실 및 신초 피해로 분석하기 위해 처리 포장에서, 5개 지점 (중앙:1, 경계:2, 사이:2)에서 각 1 그루씩 그리고 각 나무당 100개 과실(신초) (상:20, 중:30, 하:50)을 선발하여 총 500개를 조사하였다. 이 가지들에서 복숭아순나방 피해를 받은 어린 순과 과실을 중심으로 피해수를 산출하였다.

2.4. 통계분석

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

3. 결과

3.1. 재배환경이 사이한 두 사과원

청송과 영주의 두 사과원의 위치는 평지와 산악지형이라는 큰 차이점을 보이고 있다(Fig. 1). 청송 과원은 평지에 위치하며 주변의 세 개 사과원이 불과 7-30 m의 간격으로 위치했다. 처리 과원으로부터 가장 가깝고 비교적 규모가 큰 사과원은 교미교란제 처리한 반면 비교적 작은 두 과원은 무처리과원으로 조사하였다. 영주과원은 산악지형에 위치해 있으며, 주변의 과원과는 10-50 m 간격으로 떨어져 위치했다. 주변 모든 과원에는 교미교란제가 처리되지 않은 일반 재배지였으며, 이 가운데 가장 멀리 위치한 과원을 무처리구로 이용하였다. 즉 두 비교되는 과원은 모두 교미교란제 무처리 과원을 포함하나, 청송은 이들 무처리 주변 과원 가운데 한 과원이 교미교란제의 처리가 되어 있어 영주 과원에 비해 교미교란제 처리지역이 넓은 환경으로 조성하게 했다.

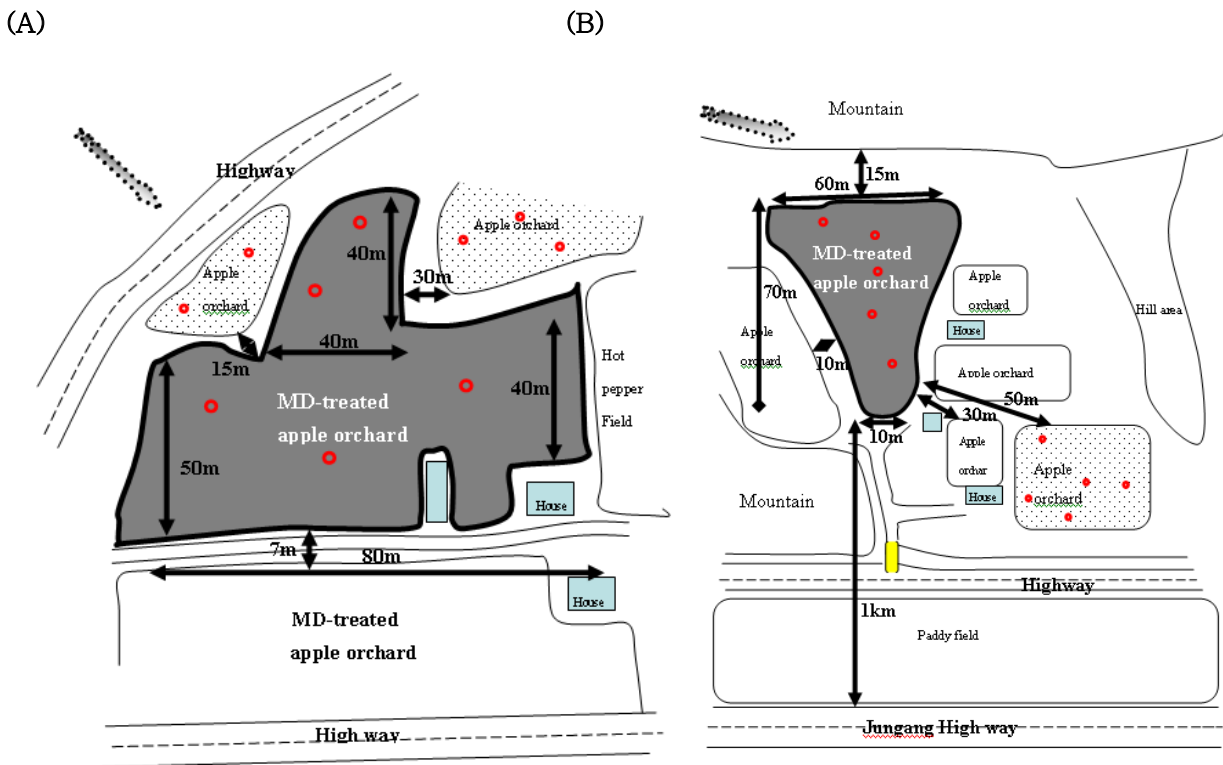


Fig. 1. Field maps of apple farms treated with a commercial mating disruptor (Isomate Rosso OFM, CBC, Japan) on population of oriental fruit moth ('OFM'), *Grapholita molesta*, in Chungsong (A) and Youngju (B). A dispenser containing 264.3 mg of *G. molesta* sex pheromone was hung on each apple tree in the treated farm (black-colored), compared to the untreated farm (dotted). Circles indicate places of sex pheromone traps.

3.2. 교미교란제 처리에 따른 복숭아순나방 집단변동

재배환경이 상이한 두 지역 사과원에 교미교란제가 월동세대 성충 우화시기 이전인 4월 13일에 처리되었다. 최초발생은 영주의 경우 무처리구에서 4월 29일 조사에서 기록되었으며, 청송은 5월 13일에 나타났다(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.

반면 영주의 경우 월동피크 이후 6월 중순, 7월 초, 7월 하순, 9월 하순의 5개 성충 피크를 보였다. 무처리구에서 전체 모니터링된 수컷의 누적밀도도 영주가 266마리였고, 청송이 145마리여서 영주가 청송에 비해 발생밀도도 많았다. 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 보였다. 여기서 초기 2개 성충 피크는 발생 동시성을 보였으나, 7월 초 피크를 보이지 않으면서 후기 2개의 피크는 오히려 처리구에서 1-2주가량 빠르게 진전되었다. 두 지역 모두에서 수컷의 유인밀도로 분석된 교미교란효과는 무처리구에 비해 유의성 있는 차이를 보인다고 분석되었다(Table 1). 수컷 유인 억제 효과면에서 두 지역간 교미교란 효과를 비교하면 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타나지만, Jung *et al.*, (2006)이 제시한 누적밀도에 기인된 교미교란효과를 산출하면 청송이 46.2%, 영주가 39.5%로 청송 집단에서 다소 산술적으로 높은 교미교란을 보였다.

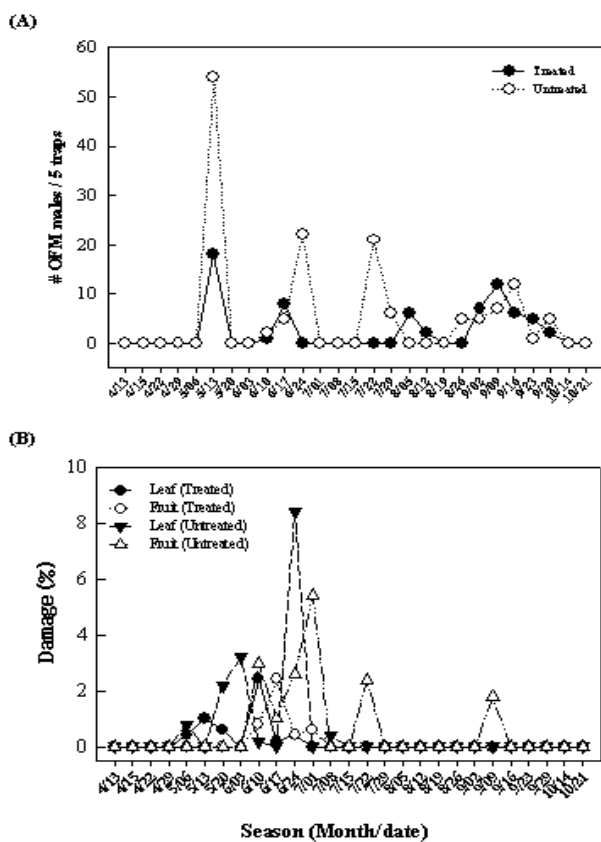


Fig. 2. Application of a commercial mating disruptor (Isomate Rosso OFM, CBC, Japan) on population of oriental fruit moth ('OFM'), *Grapholita molesta*, in an apple orchard of Chungsong. (A) Effect on mating disruption measured by male trap catches ('Treated') compared to those of no mating disruptor 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.

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

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			

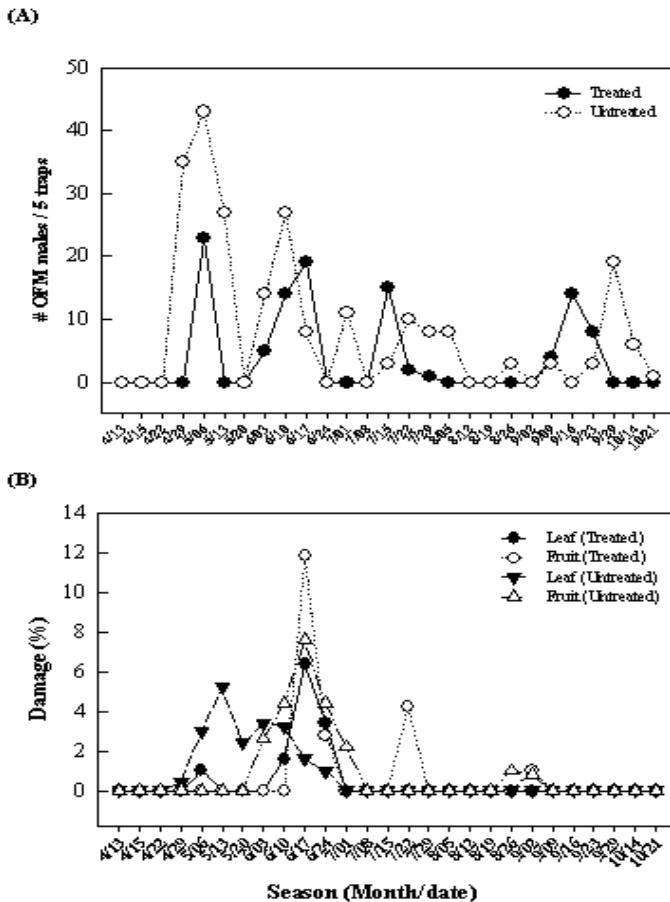


Fig. 3. Application of a commercial mating disruptor (Isomate Rosso OFM, CBC, Japan) on population of oriental fruit moth ('OFM'), *Grapholita molesta*, in an apple orchard of Youngju. (A) Effect on mating disruption measured by male trap catches ('Treated') compared to those of no mating disruptor application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

3.3. 교미교란제 처리에 따른 복숭아순나방 기주피해억제 효과

상기에 기술한 바와 같이 두 지역 사과원에 교미교란제 처리되어 수컷의 유인력을 교란하는 효과가 기록되었다. 이러한 성충 세대 교미교란이 차세대 유충 세대에서 나타나는 기주 사과의 피해를 억제하였는지 분석되었다(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 발생 이후 일주일 이후에 신초피해가 나타난 것을 의미하나, 청송의 경우는 오히려 신초피해가 성충 발생 피크보다 일주일 앞서서 나타나는 현상을 보여 아마도 월동 유충의 피해 흔적으로 해석되고 있다. 이러한 기주 피해 증상은 월동세대 이후 성충 발생 피크와 높은 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.

Table 2. Correlation coefficients (r) between male populations detected by pheromone trap (male catches) and host plant damages in oriental fruit moth, *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

4. 고찰

성페로몬을 이용한 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. 여기에 복숭아순나방의 단일교미 습성(Charlton and Cardé, 1981)은 교미교란제의 방제 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 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. 본 연구 결과는 이러한 의문점에 객관적 개연성을 보여주었다. 즉, 기주 사과피해는 성충밀도와 상관성을 보여주었으며, 특별히 청송지역에 나타난 높은 교미교란효과는 7월 중순이후의 기주피해를 완전히 억제하는 결과를 초래했다.

둘째로 고려해야 될 교미교란 처리의 기술적 문제점은 교미교란의 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 사과 과원은 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 해석할 수 있다. 두 과원은 모두 50 m 이내에 주변 과원들과 인접하였다. 일반적으로 대부분의 복숭아순나방의 성충 이동은 약 200 m 이상을 초과하지 않는 것으로 알려지나, 일부 개체들은 1 Km를 초과하여 비행한다고 한다(Rothschild and Vickers, 1991). 즉, 이러한 근접한 과원들의 배치에서는 상호 과원들 사이의 복숭아순나방 집단의 이동이 가능한 것으로 유추된다. 두 과원의 차이점은 청송 과원의 경우 대단위 인접 과원이 교미교란제를 처리하고 있는 반면, 영주 과원은

모두 무처리 과원으로 둘러싸여 있었다. 즉, 한 농가에서 처리된 교미교란제의 효과는 인접한 사과원의 교미된 암컷의 이입에 따라 무력화될 수 있다는 점을 고려하여 보면 영주과원에서 나타난 신초 및 과실 피해는 청송 과원에 비해 교미된 암컷의 이입이 자유로웠을 것이라는 점에서 이해된다. 실제로 교미교란의 효과가 거의 100%에 가까운 교미교란 처리지역에서 인접한 과원으로부터 이입된 것으로 추정되는 교미된 암컷의 포획이 보고되었다(Kim *et al.*, 2007a).

이상의 결과는 국내 농가 현실에 비춰서 교미교란제를 처리하려면 교미교란 기술 자체 이외에 재배 환경을 고려한 처리 방법을 개발해야 할 필요가 있다는 것을 제시하고 있다. 먼저 비교적 소규모 국내 사과원 지형을 고려하여 인접한 무처리 지역으로부터 교미 암컷의 유입을 억제하기 위한 방안이 강구될 필요가 있다. 먼저 광범위한 지역의 교미교란제의 처리가 이뤄져야 한다. 이때 광범위라는 크기에 구체성이 필요하다. 즉, 어느 정도까지가 광범위인지에 대한 의미를 살펴봐야 한다. 본 교미교란 기술을 통해 광범위는 복숭아순나방 성충의 교미통신이 이뤄지는 가능한 최소한의 크기로 그 범위를 결정할 수 있다. 이는 이들의 이동 거리를 고려해야 하는 것으로 집단간 복숭아순나방의 이동 크기를 지역별로 결정할 필요가 있다. 현재 이에 대해서 복숭아순나방의 분자지표를 이용하여 이들의 이동 범위를 결정할 수 있는 기술이 개발되고 있다. 둘째로 광범위 교미교란제의 처리가 어려운 경우 처리지역 가장자리에 집중적으로 교미교란제를 배치하는 교미교란제 처리 기술이다. 이는 바람의 방향에 따라 교미교란 효과가 낮아질 수 있는 사각지역을 보호하며, 인근의 암컷의 유입을 현격하게 줄일 수 있었다는 기존의 보고(II'chev *et al.*, 2004)에 기인한다. 또한 직접 교미된 암컷을 포획하는 트랩을 개발할 필요가 있다. 최근 국내에 소개된 복숭아순나방의 먹이트랩은 테르피닐아세테이트 유효성분을 포함하는 것으로 암컷을 유인할 수 있다는 것이 입증되었다(Kim *et al.*, 2007a). 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). 먹이트랩에 들어오는 암컷의 교미율을 조사하여 보면 70-80% 이상으로 야외 조건에서 대부분 암컷이 교미한 상태로 존재하거나 아니면 교미된 암컷이 먹이를 찾아 들어올 수 있다고 해석될 수 있다. 즉, 인근 무처리지역과 인접한 부위에 먹이 트랩을 설치함에 따라 유입되는 교미된 암컷을 포획할 수 있는 방파제로서 역할을 담당할 수 있다.

5. 결론

합성 성페로몬을 이용한 교미교란이 대상 해충으로부터 작물의 피해를 현격하게 줄일 수 있는 방제 기술로 기대되고 있다. 본 연구는 야외 조건에서 사과를 가해하는 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)에 대해 교미교란 기술을 적용할 경우 이 해충의 밀도를 조절하는 데 효과적이라는 것을 제시하여 주고 있다. 지역적으로 상이한 두 지역에서 복숭아순나방 성페로몬 성분이 ha 당 160 g으로 각각 처리되었다. 두 지역에서 각각 처리구와 무처리구를 설치하고 이들 지역에서 각각 시간 경과에 따른 복숭아순나방 성페로몬 트랩에 유인되는 수컷의 밀도를 모니터링하였다. 같은 조사 시기에 복숭아순나방에 의한 기주작물 피해 수준도 분석되었다. 본 교미교란 기술은 복숭아순나방의 수컷 포획밀도를 대조구에 비해 현격하게 낮추어 처리지역에서 교미교란효과가 있었음을 반증하여 주었다. 수컷유인밀도는 기주식물의 피해와 유의성있는 상관관계를 이루었다. 더욱이 월동세대의 높은 성충 발생피크는 바로 다음세대(6월)의 높은 기주피해를 유발하였다. 청송 포장의 경우 월동세대(4-5월 성충피크)의 교미교란제 처리 효과가 높았으며 이는 이어지는 복숭아순나방 발생 기간동안 기주 피해는 물론이고 차세대 성충 발생밀도 낮아지는 효과를 나타냈다. 본 연구는 또한 인근 무처리 사과과원의 분포상황이나 지형적 상이성과 같은 다양한 야외 포장의 조건을 토대로 교미교란 효과의 변이를 분석하였다.

제10절 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 교미교란 처리를 위한 왁스형 페로몬방출기 및 적용 기술 개발

1. 서론

복숭아순나방(*Grapholita molesta*)은 연중 4-5회 성충 발생 피크를 보이며, 유충은 사과, 배 등 핵과류의 과실을 직접 가해하는 일차해충이다(Ahn *et al.*, 1985). 사과의 경우 과실에 직접 피해를 주는 나방류로 복숭아순나방과 더불어 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)을 포함시키지만, 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 해충에 의한 과실 피해는 화학농약의 살포가 어려운 사과 수확직전기간까지 미쳐 필연코 다른 방제 기술이 요구되고 있다. 이에 따라 해충 가해 습성 및 재배 환경에 따른 문제점을 해결하기 위한 복숭아순나방 방제 기술로서 성페로몬을 이용한 교미교란제 처리가 대체 방제 수단으로서 제기되었고, 부분적으로 농가에서 적용되고 있다(Kim *et al.*, 2007b).

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, 시각보다는 주로 후각에 의존하기 때문에 성페로몬을 이용한 교미교란은 더욱 효과적일 수 있다(Cardé and Mink, 1995). 더욱이 많은 나방류 해충이 단일교배를 하며, 또한 암수 교미최성기가 있어 교미교란제에 의해 이러한 교미시기를 놓치면 아예 교미능력을 잃어버리거나 또는 무정란을 생산할 가능성이 높아진다. 비록 성페로몬이 화학물질이지만 극미량으로 살포되고 또한 휘발성이 높아 잔류성이 없기 때문에 방제효과만 보장된다면 환경친화형 방제 기술로서 현장 적용이 확대될 전망이다.

교미교란제를 이용한 복숭아순나방 방제 기술 적용이 현실화될 수 있기 위해서 여러 제반 기술이 개발되어 왔다. 복숭아순나방의 성페로몬 조성이 밝혀졌고(George, 1965; Cardé *et al.*, 1979), 다량의 합성페로몬을 처리하는 경우 수컷으로 하여금 암컷의 탐색 능력을 저하시켜, 이에 따른 방제 효과가 화학 농약과 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 월동세대를 효과적으로 교란시킬 수 있는 가능성을 보여 주었다(Jung *et al.*, 2006).

그러나 교미교란제를 이용하여 복숭아순나방을 방제하는 기술을 국내에 이상적으로 적용하기 위해서는 크게 두 가지에서 현장 적용 핵심 기술이 요구된다. 첫째는 복숭아순나방 성페로몬을 효과적으로 방출하기 위한 방출기 제작이다. 이상적 방출기는 효과의 지속성이 뛰어나며, 처리 기술에서 노동력을 절감시킬 수 있는 형태로 개발되어야 한다. 다양한 방출기가 전세계적으로 개발되고 있으나, 가장 선호하는 Isomate[®]과 Splat[®]의 두 가지 방출기 효과가 비교 분석되었다(Jung *et al.*, 2007). 두 방출기 형태는 모두 국내 복숭아순나방에 대해서 교미교란을 지속적으로 유도하였으나, Splat[®]의 방출기가 효과와 처리기술의 간편함에 있어서 선호되었다. 그러나 Splat[®]의 단가를 낮추는 새로운 왁스형 방출기 개발이 필요로 하였다. 둘째로 국내 사과 농가 재배환경을 고려한 교미교란제의 처리 기술이 개발되어야 한다. 즉, 대체로 소규모인 국내 개별 사과원을 고려할 때, 대단위로 처리하여 교미교란 효과를 나타내

는 외국의 성공 사례(Иlichev *et al.*, 2002; Kovanci *et al.*, 2005)를 국내 농가에서 기대하기에는 어려움이 따를 수 있다. 이는 북송아순나방의 교미반경이 개별 국내 농가의 사과원 규모보다 충분히 클 수 있기 때문에 인근의 무처리 농가의 교미된 암컷이 처리 농가로 유입이 가능할 수 있기 때문이다. 실제로 인근 사과원 배치가 상이한 두 사과원을 대상으로 동일한 교미교란제를 처리한 경우, 뚜렷한 교미교란 효과 차이를 나타내어, 무처리 지역에서 교미된 암컷이 교미교란제 처리 지역으로 유입이 교미교란제 처리 효과를 낮추는 주요 요인으로서 제시되었다(Jung and Kim, 2008). 이를 해결하기 위해서는 광범위한 교미교란제 처리가 이뤄지든지 아니면 인접한 비처리 지역으로부터 유입되어 오는 교미된 암컷을 특이적으로 차단할 수 있는 장치가 요구된다.

본 연구는 국내 사과 농가 현실에 맞춘 북송아순나방 교미교란제 처리 기술을 개발하고 자 교미교란 효과가 우수하고, 처리 방법이 간편하여 노동력을 절감시킬 수 있는 저렴한 재질의 왁스형 페로몬 방출기를 개발하였다. 또한 이 기술을 국내 농가에 적용하기 위해 교미교란제 처리량 효과를 분석하였으며 과수원 주위로 먹이트랩을 배치하여 교미암컷의 유입을 차단하게 함으로 왁스형 교미교란제 처리 효과를 극대화하는 기술을 개발하여 보고하게 되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 왁스형 방출기 제작

북송아순나방 성페로몬이 함유된 페로몬방출기는 왁스 재질로 점착형으로 제작되었다(Table 1). 제작과정은 먼저 파라핀왁스를 약 70°C에서 용해시켰다. 용해된 왁스는 균등 재질을 확보하기 위해 믹서기로 200 rpm에서 내용물을 혼합시켰다. 이때 유화제를 첨가하면서 회전 속도를 300 rpm으로 증가시켰다. 유화제가 고르게 혼합되면 향산화용 물질인 토크페롤, 자외선 차단 오일 및 북송아순나방 성페로몬을 순서대로 첨가시켰다. 모든 성분들이 용해되게 되면 약 70°C의 탈이온증류수를 소정의 전체 혼합무게가 되도록 천천히 첨가하였다. 이 혼합물을 상온에서 3분간 500 rpm로 교반하였다. 이후 5분간 방치하면서 온도를 낮춘 후 1,000 rpm으로 10분간 다시 교반하였다. 이를 상온에서 24시간 가량 서서히 식힌 후 사용할 때까지 냉장(4°C) 보관하였다. 사용 시에는 Premium carpet adhesive (QEP, Florida, USA) 전착제를 5% 혼합하여 사용했다. 제작된 왁스형 방출기 처리는 사과나무 가지 사이의 그늘진 곳에 크립형태로 부착시켰다(Fig. 1A).

Table 1. Composition of wax-type sex pheromone dispenser to apply to mating disruption of *Grapholita molesta*

Components	Weight (g)	Supplier
Paraffin wax	320	Dongnam Petrochemical MFG, Seoul, Korea
Emulsifier (Almax 3600)	25	Ilshinwells, Seoul, Korea
α -Tocopherol	15	TCI, Tokyo, JAPAN
Jajoba oil	25	Sigma, St Louis, MO, USA
OFM pheromone ¹	55	Bedoukian, Danbury, CT, USA
Deionized water	560	-
Total	1,000	

¹ Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH = 95:5:1 (w/w)

2.2. 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. 매 주 1회씩 포획된 암컷을 70% 에탄올 용액에 수거한 후, 트랩에 약 500 μ l의 테르피닐아세테이트 용액을 다시 첨가하여 유인력을 유지시키게 했다.

2.3. 왁스형 방출기 교미교란제 처리량 및 먹이트랩 혼용효과 분석

본 연구는 경북 신녕지역의 사과원에서 야외 월동세대를 중심으로 분석되었다. 교미교란제 처리는 복숭아순나방의 성충 발생이 시작되는 4월 7일에 설치되었다. 교미교란제 처리량은 기준량인 120 g/350 평을 기준으로 네 처리를 설정하였다. 즉, 처리 1은 과량으로 250 g/350 평, 처리 2는 기준량인 120 g/350 평에 먹이트랩을 주변으로 4개 설치하였으며, 처리 3은 교미교란제 기준량 처리, 그리고 처리 4는 소량 처리로서 80 g/ 350 평의 교미교란제 처리로 구성되었다(Fig. 1B). 무처리구로서 350 평은 처리 포장 지역과 100 m 떨어져 위치했으며 사이에 교미교란제가 처리되지 않은 사과나무들이 위치했다(Fig. 1C).

교미교란제와 먹이트랩의 혼용효과는 단독 포장(약 350평)을 이용하여 분석하였다. 이상의 교미교란제 처리 분석지역과 동일한 신녕 지역으로서 이들 사이에는 500 m 이상 거리를 두었으며, 본 조사 사과원의 주변은 산과 하천이 위치하여 근접한 사과원이 없는 단독 과원으로 분류되었다. 여기에 기준량의 교미교란제(120 g/350 평)를 처리하고, 과원 외곽에 10 m 간격으로 10개의 먹이트랩을 설치하였다.

2.4. 왁스형 방출기 교미교란제와 상용 튜브형 교미교란제와의 복숭아순나방 방제효과 비교

본 비교시험은 경북 군위에 위치한 사과시험장 포장을 이용하였다. 왁스형 방출기 교미교란제, 현재 농가에서 사용하고 있는 상용 튜브형 교미교란제(Isomate[®]-M ROSSO) 및 무처리를 각각 1,000평 규모로 설정하였다. 상용 튜브형 교미교란제는 Pacific Biocontrol 회사(Vancouver, WA, USA)에서 생산하는 제품으로, 밀봉된 폴리에틸렌 튜브에 복숭아순나방 페로몬이 들어 있는 형태로 가지에 고리형태로 꼬아서 처리하였다. 각 튜브에는 264.3 mg의 페로몬성분이 들어있으며, 이는 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 88.5: 5.7: 1.0%로 차지하고, 기타 불활성 성분이 4.8%가 함유되었다. 각 사과나무에 1개씩 처리되었으며, 포장 1 ha에 약 600개(약 160 g 페로몬 성분)가 설치되었다. 반면에 왁스형 교미교란제는 기준량(120 g/350 평)을 처리하였다. 교미교란제 처리효과는 4월부터 10월까지의 야외 모니터링 결과를 토대로 분석하였다.

2.5. 교미교란제 처리효과 조사

교미교란제 처리 후 1 주일 간격으로 처리지역의 수컷 집단을 모니터링하였다. 모니터링 트랩은 복숭아순나방의 성페로몬 성분인 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, Z8-12:OH이 각각 95: 5: 1%의 비율로 포함된 델타트랩(그린아그로텍, Model No. 50106, 경산, 한국)을 이용하였다. 처리량 비교시험에서는 각 처리지역에서 바람의 방향을 고려하여 임의의 2개 지점에 트랩을 설치하였다(Fig. 1B, 삼각형). 포장 방제 시험에서는 처리지역별 3개를 설치하였다. 모니터링 결과는 조사기간 동안 유인된 수컷의 누적 밀도로 표기하였으며, 서로 다른 처리 간 비교에 이용되었다. 먹이트랩은 처리 지역 중앙에 1개 설치하였으며

포획된 누적밀도를 산출하였다. 특별히 포획된 암컷의 교미여부는 Kim *et al.* (2007a)의 방법에 따라 암컷 교미낭 속 정자주머니의 유무로 판단하였다.

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 및 과실(상: 10-20, 중: 15-30, 하: 25-50)을 선별하여 신초는 500개, 과실은 1,000개를 조사하였다. 이 가지들에서 복숭아순나방 피해를 받은 어린 신초 및 과실을 확인하고 각각 신초 및 과실 피해율로 산출하였다.

2.6. 통계분석

조사 자료가 100분율인 경우는 arcsine으로 전환한 후 ANOVA 분석하였다. SAS 프로그램(SAS Institute, 1988)의 PROC GLM을 이용하여 ANOVA를 실시하였으며, 평균간 비교는 LSD 검정을 이용하였다.

3. 결과

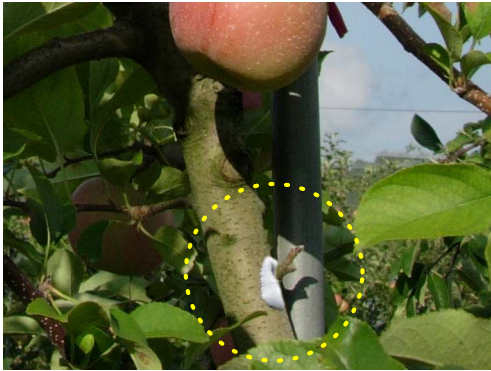
3.1. 왁스형 방출기 교미교란제 처리량 및 먹이트랩 혼용효과 분석

제작된 왁스형 페로몬 방출기의 교미교란제 처리 효과가 2007-2008년 사과원에 발생하는 복숭아순나방을 대상으로 분석되었다. 사과 주산지인 경북지역을 대상으로 복숭아순나방 발생이 시작되는 4월 초에 왁스형 교미교란제가 처리되었다. 이 교미교란제의 처리 효과는 포장에 배치된 모니터링 페로몬 트랩 및 먹이트랩(Fig. 1)을 이용하여 분석되었다. 또한 4-5월에 신초 피해 및 5-6월의 과실 피해를 조사하여 교미교란 처리의 실효성을 분석하였다.

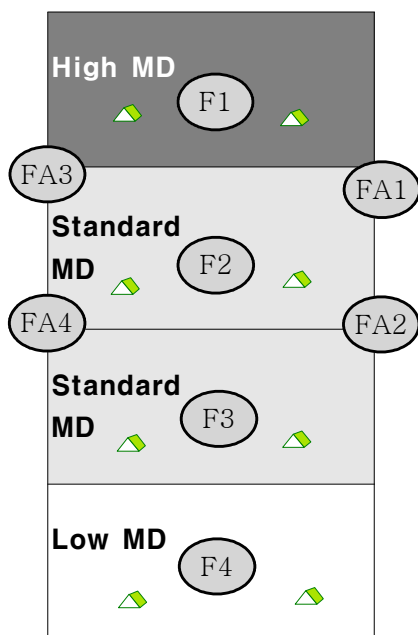
먼저 왁스형 교미교란제 처리 농도에 따른 교미교란 효과가 검증되었다(Fig. 2). 모니터링 페로몬 트랩에 유인된 수컷의 밀도를 살펴보면 처리량에 따라 뚜렷한 차이를 보였다($F = 24.85$; $df = 3, 3$; $P = 0.0123$). 교미교란제 처리량이 기준량에 비해 약 2배로 처리한 경우 모니터링 트랩에 유인되는 수컷의 밀도는 기준량의 약 1/2배의 낮은 처리량에 비해 뚜렷하게 감소하여 처리 농도별 교미교란 효과를 나타냈다. 이러한 교미교란 효과는 암수 모두를 유인하는 모니터링 먹이트랩의 경우에도 유사하게 나타났다. 교미교란제 처리량 증가에 따라 발생하는 성충 밀도가 감소하는 것처럼 나타났다. 먹이트랩에 포획된 암컷의 교미여부를 판정한 결과 무처리는 포획된 전체 10 마리 가운데 7 마리가 교미된 암컷이고, 교미교란제가 처리된 지역에서 포획된 전체 9 마리 가운데 8 마리가 교미된 암컷으로 나타났다. 즉, 무처리 지역에서 발생했을 것으로 추정되는 교미된 암컷의 행동은 교미교란제 처리와 무관하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 해충 발생 상황에서 조사기간 동안 나타난 신초와 과실의 피해를 살펴보면 이러한 교미교란 효과가 사과의 해충 피해를 감소시키는 결과로 나타났다 것을 알 수 있다. 기준량의 왁스형 교미교란제를 처리한 경우 일부 신초 피해를 제외하고 전혀 과실 피해를 주지 않았다.

다음으로 이러한 왁스형 교미교란제의 처리 효과를 극대화시키기 위한 기술 개발로서 미처리 지역에서 발생한 교미 암컷의 이입을 막는 방법이 고안되었다. 이를 위해 왁스형 교미교란제가 처리된 지역 주변에 먹이트랩을 배치하여 처리지역으로 이입되는 외부 교미 암컷을 차단하려 했다. 이를 증명하기 위해 기준량의 왁스형 교미교란제를 동일하게 처리한 두 포장 가운데 한 포장은 먹이트랩을 가장자리에 네 군데 설치하였다(Fig. 1b). 두 포장을 비교한 결과(Fig. 3), 모니터링 페로몬트랩에 들어오는 수컷의 밀도는 유사하여 동일한 교미교란이 이뤄지는 것으로 판단되었다(Fig. 3). 그러나 모니터링 먹이트랩에 기록된 성충 밀도가 주변에 먹이트랩이 설치된 포장에서 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이러한 차이는 가장자리에 위치한 먹이트랩에 포획된 성충밀도(Fig. 3, 검정막대)에서 이해될 수 있었다. 가장자리 먹

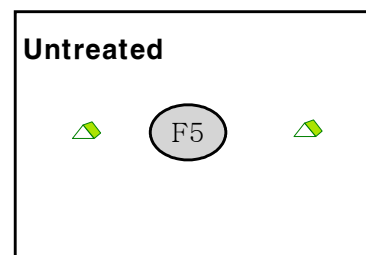
(A)



(B)



(C)



(D)

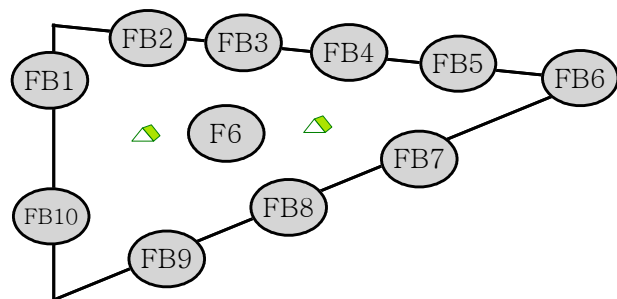


Fig. 1. Wax-type pheromone dispenser and its application to mating disruption ('MD') of *Grapholita molesta* infesting apples. (A) A photo demonstrating treatment of wax-type pheromone dispenser (within dotted circle) between tree branches. (B) Treatments of different amounts of the pheromone dispenser. Each of four treatment block is 0.117 ha. High, standard, and low MDs represent 250 g, 120 g, and 80 g of the pheromone dispenser per 0.117 ha. (C) Untreated block. (D) An isolated apple orchard (\approx 0.117 ha) that was treated with standard amount of the pheromone dispenser and ten surrounding food traps. All treatments were installed at April 7. *G. molesta* density was monitored by two delta traps (triangles) and food trap (center, 'F1'-'F6') in each treatment block.

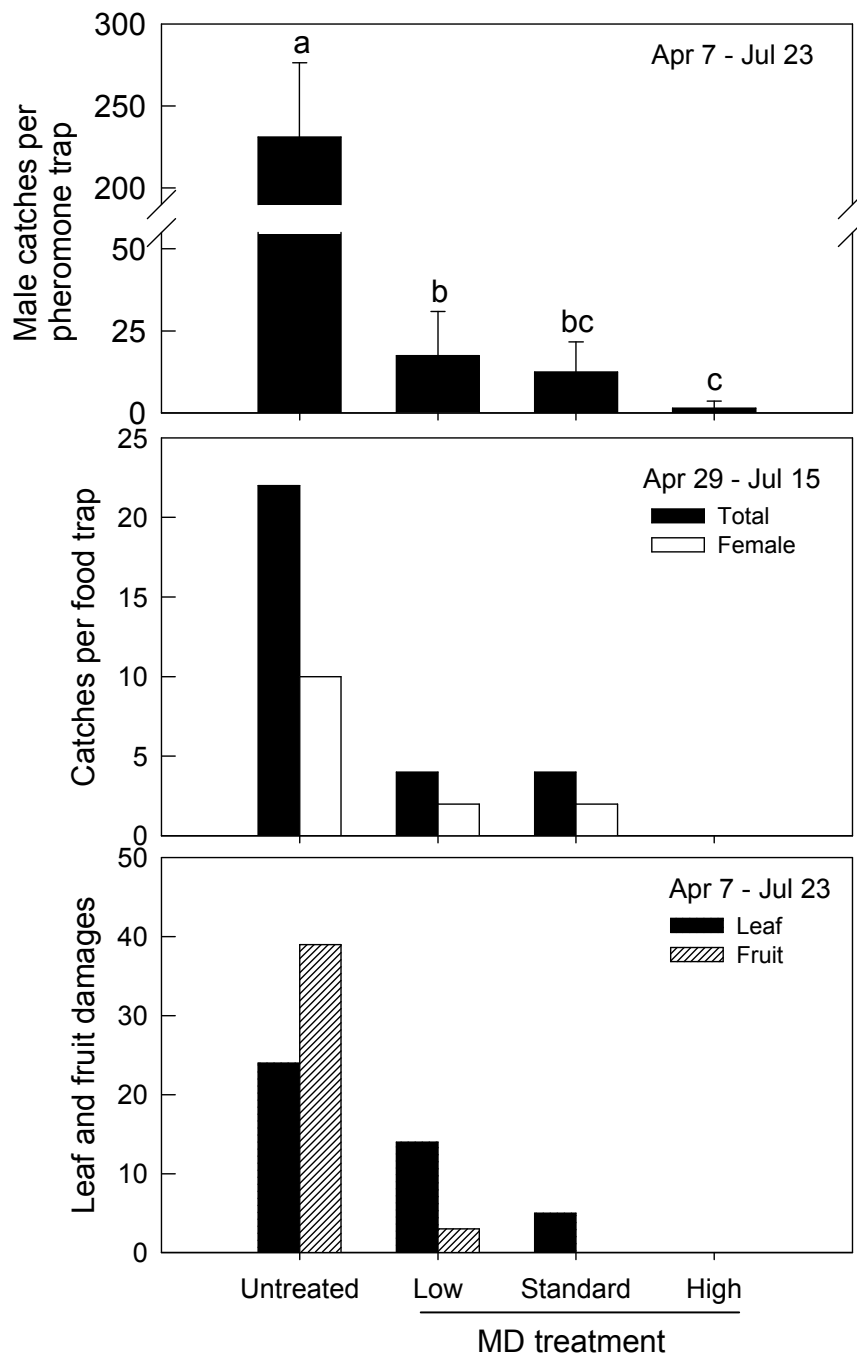


Fig. 2. Effect of different amounts of wax-type pheromone trap on mating disruption ('MD') of *Grapholita molesta* from april to July. Deployment of experimental plots are depicted in Fig. 1. High, standard, and low MDs represent 250 g, 120 g, and 80 g of the pheromone dispenser per 0.117 ha. MD effects were assessed with cumulative male and adult catches monitored respectively by two delta traps and one food trap in each treatment block during experimental period. Different letters above standard error bars represent significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

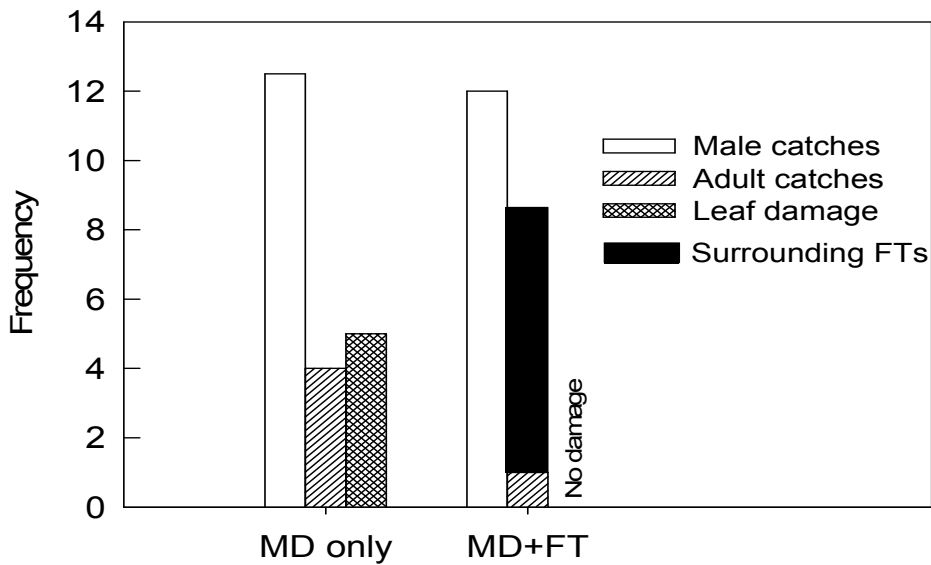


Fig. 3. Effect of four surrounding food traps (FTs) at four edges of mating disruption ('MD') plot on preventing immigration of mated females (black bar of MD+FT treatment) of *Grapholita molesta* out of outside untreated areas. A standard amount (120 g per 0.117 ha) of wax-type pheromone dispenser was treated in both MD-treated plots (Fig. 1B). MD effects were assessed with cumulative male and adult catches monitored respectively by two delta traps and one food trap in each treatment block during experimental period.

이트랩에 포획된 12마리 가운데 8마리가 암컷이었고, 모두 정자주머니가 교미낭에서 발견되어 교미된 것으로 분석되었다. 이러한 암컷의 이입 차단을 통해 동일한 농도의 교미교란제가 처리된 포장에 비해 기주 작물의 피해가 감소하였다.

이상에서 얻은 교미교란제 처리 기술과 가장자리 먹이트랩을 이용한 교미된 암컷의 차단 효과를 비교적 인근 사과원이 100 m 이상 떨어져 있는 단독 사과 과수원에 적용하였다(Fig. 4). 교미교란제와 먹이트랩이 병행된 처리지역에서 모니터링 페로몬트랩에 포획된 수컷의 밀도는 뚜렷하게 감소하였으며, 아울러 모니터링 먹이트랩에 포획된 암컷도 현격하게 낮은 포획수를 보였다. 특별히 가장자리에 포획된 성충은 모두 9 마리였으며, 이 가운데 2마리가 암컷이고 이들은 모두 교미된 암컷이었다. 이러한 교미교란 효과와 교미된 암컷의 이입을 차단하는 효과 속에서 처리된 사과원의 피해는 신초와 과실 피해 모두 나타나지 않았다.

3.2. 왁스형 방출기 교미교란제와 상용 튜브형 교미교란제와의 복숭아순나방 방제효과 비교

본 연구에서 제조된 왁스형 교미교란제를 상용화되고 있는 Isomate[®] 교미교란제와 비교분석하였다(Fig. 5). 두 교미교란제는 기준량으로 각각 처리되었고, 연간 복숭아순나방 발생 밀도 및 사과 기주 피해를 분석하였다. 모니터링 페로몬트랩에 포획된 수컷의 밀도 감소를 놓고 비교하여 보면 두 교미교란제는 모두 무처리에 비해 뚜렷한 교미교란 효과를 보였음을 나타냈다($F = 9.94$; $df = 2, 4$; $P = 0.0280$). 그러나 이들 두 교미교란제 사이에는 교미교란 효과면에서 차이를 보이지 않았다. 기주 사과에 대한 피해는 5월에는 신초 피해이고 이후는 모두 과실피해를 반영하였다. 이를 살펴보면 교미교란제 처리 지역은 무처리에 비해 현격하게 낮은 기주 피해를 보였으나 두 교미교란제 처리 지역 사이에는 뚜렷한 효과 차이를 보이지 않았다(Table 2).

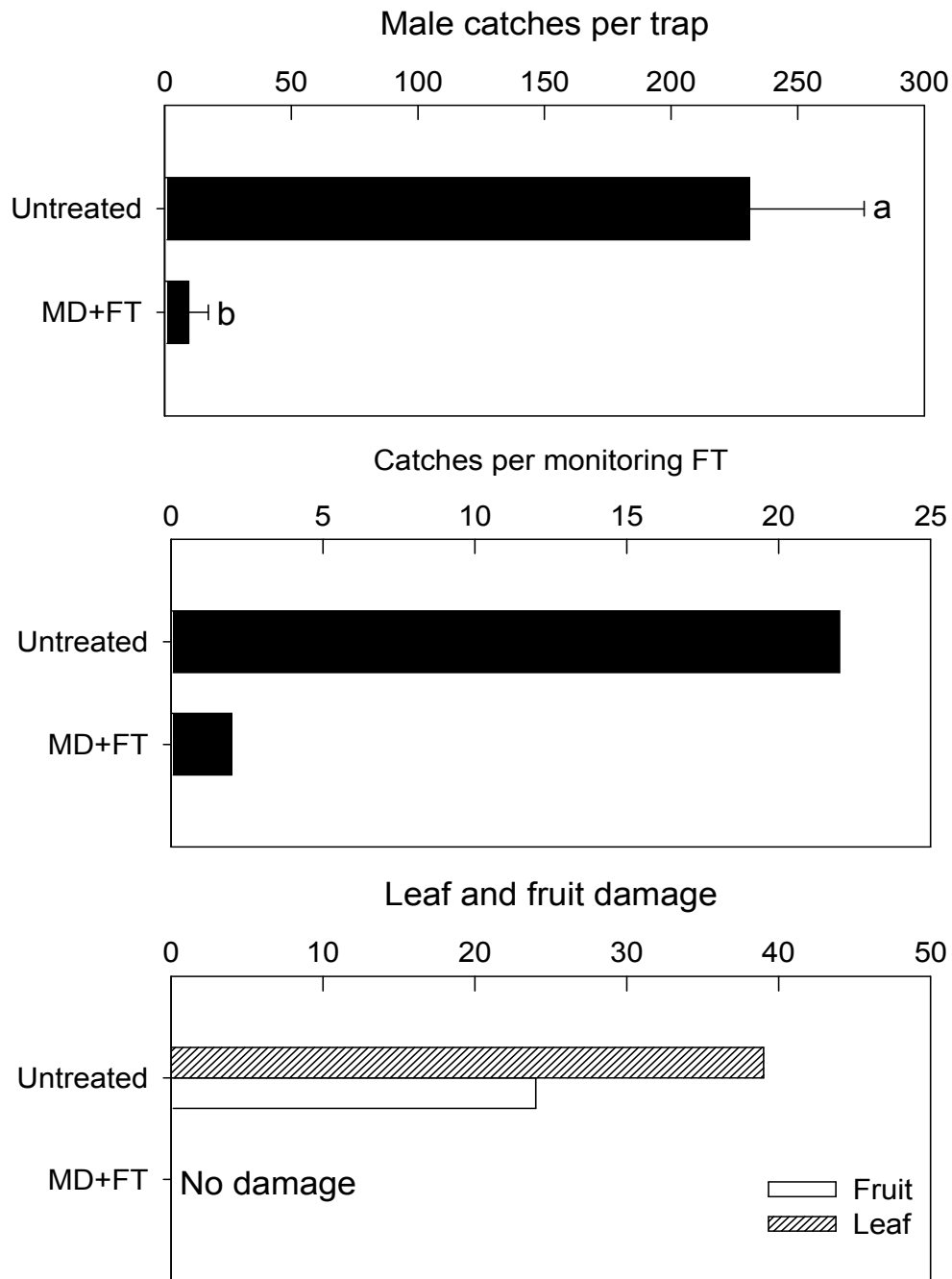


Fig. 4. Co-application of mating disruption ('MD') and surrounding food trap ('FT') to an isolated apple orchard (≈ 0.117 ha) to control outbreak of *Grapholita molesta*. A standard amount (120 g per 0.117 ha) of wax-type pheromone dispenser was treated in MD+FT plot. MD effects were assessed with cumulative male and adult catches monitored respectively by two delta traps and one food trap in each treatment block during experimental period. Different letters next to standard error bars represent significant difference between means at Type I error = 0.05 (LSD test).

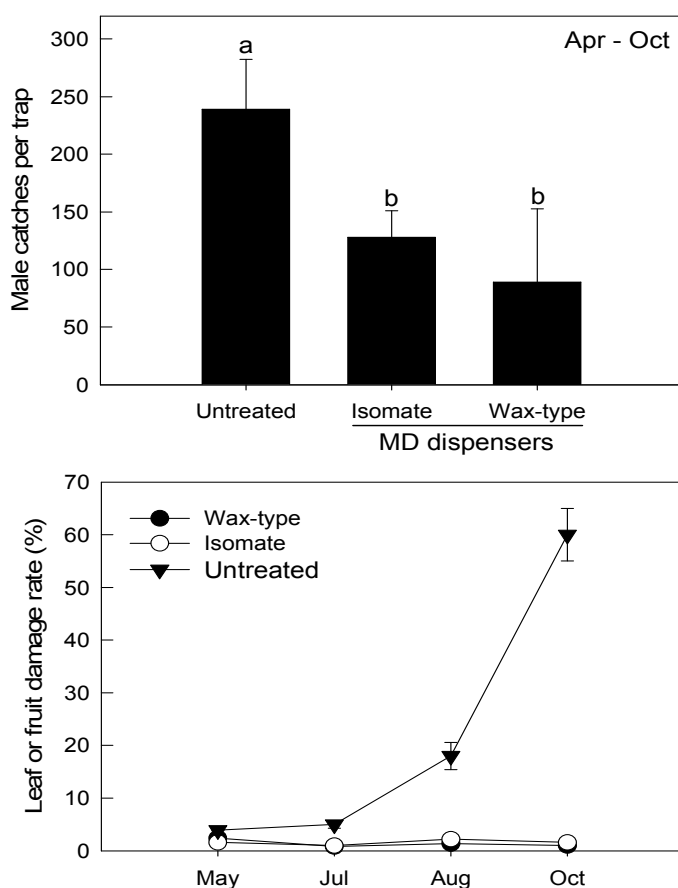


Fig. 5. Field assessment of wax-type pheromone dispenser to control outbreak of *Grapholita molesta*. A standard amount (120 g per 0.117 ha) of wax-type pheromone dispenser was treated and compared with a commercial mating disruption ('MD') lure ('Isomate') in terms of cumulative males catches monitored by three delta traps in each treatment plot (\approx 0.333 ha) and leaf/fruit damage due to *G. molesta*. Different letters above standard error bars represent significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

Table 2. ANOVA of effects of different sex pheromone dispensers on preventing leaf and fruit damages of apples by mating disruption of *Grapholita molesta*. Data are set forth in Fig. 5B.

Source ¹	df	SS	MS	F	P
Treatment	2	319781.6	159890.8	579.7	< 0.0001
Untreated vs two MDs	(1)	319733.4	319733.4	1159.2	< 0.0001
Between two MDs	(1)	48.2	48.2	0.17	0.6798
Month	3	219262.8	73087.6	265.0	< 0.0001
Treatment * Month	6	425562.0	70927.0	257.1	< 0.0001
Error	24	6620.0	275.8		
Total	35	971226.3			

¹ Treatment includes 'Untreated', 'Isomate', and 'Wax-type'. The latter two treatments represent mating disruption (MD) types to be compared. Month includes four assays performed at May, July, August, and October.

4. 고찰

본 연구 결과는 사과원에 발생하는 복숭아순나방에 대한 성페로몬을 이용한 교미교란 방제 기술이 실효성이 있음을 보였고, 기존에 상용화된 제품을 중심으로 평가된 방제효과를(Jung *et al.*, 2006) 재확인시켰다. 성페로몬을 이용한 교미교란의 원리는 크게 두 가지의 원리로 대상 해충의 교미를 방해하게 된다(Baker and Heath, 2005). 즉, 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 연구의 대상인 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). 또한 기존의 연구에서 보여 주었듯이 성충 교미교란이 차세대 유충에 의한 기주 피해의 감소로 연계되어 교미교란 기술의 산업적 신뢰성을 확보하였다(Jung *et al.*, 2006; Jung and Kim, 2008).

그러나 복숭아순나방 방제를 확대 적용하려면 국내 개별 농가 현실로 조망하여 불 때 아직도 풀어야 할 문제점들이 있다. 첫째로 효과적이며 생력화된 성페로몬 방출기 개발이다. 현재 국내 사과원에 사용되고 있는 교미교란제 방출기는 Isomate 제품의 튜브형으로서 처리 사과나무 마다 가지에 꼬아서 설치하는 방식이다. 광범위한 지역에 이러한 교미교란제를 처리할 경우 과도한 설치 노동력이 문제가 되어 이를 해결하고자 살포용 소형캡슐형의 성페로몬 제제가 개발되어 응용되었다(Il'ichev *et al.*, 2006). 그러나 다른 연구 결과들에서는 살포용 소형캡슐형의 성페로몬 제제의 효과가 변이가 있어(Knight and Larson, 2004; Knight *et al.*, 2004) 이러한 방출기 형태의 교미교란제 적용은 아직도 현장 적용 기술 개발이 이뤄져야 할 것으로 사려된다. 한편 국내 복숭아순나방 집단에 대해서 기존의 튜브형태의 Isomate 제품과 비교하여 왁스형태의 Splat[®] 제품을 비교하였을 때 교미교란 효과에서 Splat[®] 제품이 Isomate[®] 보다 우수하다고 제시되었다(Jung *et al.*, 2006). 본 연구는 이를 기초하여 Splat 제품을 변형한 왁스형 방출기를 개발하였으며, 이를 포장 조건에서 실효성을 보여주었다. 첫째로 본 연구에서 개발한 왁스형 페로몬 방출기는 모든 처리량에서 무처리에 비해 월등한 교미교란 및 기주 사과 피해 감소 효과를 보였다. 또한 이 교미교란제의 처리량에 따라 교미교란 능력에서 차이를 보여 교미교란이 기능적으로 이뤄지고 있음을 반증하였다. 또한 연중 사과원에 처리한 결과, 상용화된 Isomate[®] 제품과 비교하여 비등한 방제 효과를 나타내 제품의 효과 안정성을 나타냈다.

둘째로 교미교란제의 특성상 국내와 같이 비교적 좁은 재배지에서는 개별 농가 수준으로 처리 범위를 국한시킬 경우 효과를 거두기 어렵다는 것이다. 비행능력이 뛰어난 나비목 해충들이 비처리지역의 외부에서 이주해 들어올 수 있는 거리에 있다면, 교미교란의 효과는 매우 희석될 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, 이러한 근접한 과원들의 배치에서는 상호 사과원들 사이의 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). 본 연구는 개발된 왁스형 방출기 교미교란제의 실효성을 극대화하기 위해 이러한 현장 문제를 해결하려 하였으며, 이를 위해 처리 사과원 주변으로 암수를 모두 포획할 수 있는 먹이트랩을 설치하였다. 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 보호벽 역할을 함으로서 교미교란제 처리효과를 증진시킬 수 있을 것이다. 이러한 개연성을 토대로 실시된 본 연구는 사과원 주변 먹이트랩 설치가 실제로 교미교란제만 처리한 포장에 비해 신초 피해를 줄일 수 있었으며, 이는 이들 과원 주변에 설치된 먹이트랩에서 포획된 암컷이 대부분 교미된 것으로 분석되어 이러한 먹이트랩이 보호벽으로

작용하고 있었음을 반증하고 있다. 유사한 보호벽 개념의 트랩 설치가 고안되었으며(II'ichev *et al.*, 2004), 이는 사과원 주변에 페로몬 트랩을 설치할 것으로 제안하여, 그 실효성을 입증하였다. 추후 왁스형 교미교란제 처리의 실효성을 보다 높이기 위해서는 복숭아순나방의 사과원 내 분포를 파악한 후 이들의 분포 위치에 따라 교미교란제 처리량을 달리하는 기술을 개발할 필요가 있다. 또한 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 보고와 일치되는 개념일 수 있다.

5. 결론

왁스형 페로몬 방출기를 제작하여 사과원에 발생하는 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 밀도를 억제하기 위한 교미교란제로 응용하였다. 아울러 이 왁스형 교미교란제의 방제효과를 극대화하기 위해 본 연구는 처리량에 따른 복숭아순나방의 교미교란 효과를 비교 분석하였다. 이때 교미교란 효과를 모니터링 페로몬 트랩 및 먹이트랩에 유인되는 누적 성충 밀도의 감소 및 기주 식물의 피해로 분석한 결과, 왁스형 교미교란제 처리량에 따라 상이하게 나타났다. 개발된 왁스형 교미교란제를 기준량(350평당 120g)으로 처리하고 연간 복숭아순나방의 밀도 변화와 기주 피해를 분석한 결과, 현재 상용화되고 있는 교미교란제(Isomate[®])와 뚜렷한 차이 없이 복숭아순나방 밀도 억제와 과실피해 감소효과를 나타냈다. 본 연구는 또한 교미교란 처리지역 가장 자리에 먹이트랩을 배치할 경우 비처리지역에서 유입되는 교미된 암컷의 이동을 막는 효과를 나타내는 것으로 확인하였다. 이러한 결과들로 미뤄 왁스형 페로몬 방출기는 복숭아순나방 교미교란제로 응용될 수 있으며, 과수원 주변에 배치하는 먹이트랩과 혼용하는 경우 교미교란 효과를 극대화할 수 있다고 본 연구는 제시한다.

제11절 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 교미교란제의 야외 적용 기술

Experiment on the control effect of mating disruption against oriental fruit moth, *Grapholita molesta* in the apple orchards

ABSTRACT

Control effect of mating disruption against oriental fruit moth, *Grapholita molesta* was investigated in apple orchards from 2006 to 2008. From the results of pheromone trap monitoring at the several orchards, the occurrence of oriental fruit moths were increasing such as 252, 493, 847 more than peach fruit moth such as 45, 54, 102 from 2006 to 2008. The attraction efficacy of food trap to oriental fruit moth was better than pheromone trap in the pheromone mating disruption blocks of apple orchards. Though there was more than 95% reduction in male captures by pheromone trap in the mating disruption blocks, female and male captures by food trap were 89 to 128 moths in the mating disruption blocks and 69 to 239 moths(29 to 58%) per year relative to the male captures(242 to 784 moths) by pheromone trap in the conventional chemical spray blocks. Efficacy of food trap was very high in the spring(April and May), but not in summer in comparison with pheromone trap. 63 to 84% of captured female moths were mated in the mating disruption blocks in comparison with 72 to 100% in the conventional chemical spray blocks. The control effect of mating disruption, the rate of mating disruption and the attraction number of moths to the food trap at the treatment of new products was similar to the Japanese commercial product(Confuser-R). The control success of mating disruption was possible at the low density level of oriental fruit moths such as under 100 and 600 moths in the overwintering generation and in a year, respectively. On the other hands, mating disruption of oriental fruit moths could not succeed at the high density level such as the negligent apple or stone-fruit trees.

1. 연구목표

국내개발 복숭아순나방 교미교란제의 처리효과 분석 및 사과원 실용화를 위한 실증시험을 수행코자 함

2. 재료 및 방법

복숭아순나방 발생 모니터링 : 2006년에는 복숭아순나방 성충의 유인효율을 성페로몬트랩, 먹이트랩 및 유아등 수반트랩을 이용하여 조사하였고, 2006년부터 2008년에는 지역별 사과원별로 성페로몬트랩을 이용하여 복숭아순나방의 발생상황을 복숭아심식나방과 비교 조사하였다. 2008년에는 2종 심식나방류의 피해과율도 조사하였다.

교미교란제 처리효과 검증 방법 개선 : 복숭아순나방 교미교란제의 방제효과 검증방법을 개선하기 위하여, 2006년에 3종 교미교란제를 대상으로 기존에 사용하고 있는 성페로몬트랩 유인수 감소에 의한 교미교란율(교미교란제 무처리(관행방제구) 대비 교미교란제 처리구의 성충 유인수 감소율)과, 먹이트랩(테르피닐아세테이트 유인액)을 이용한 복숭아순나방 유인수를 조사하여 비교분석 하였다.

시판용과 개발 교미교란제의 방제효과 비교 : 2007년부터 2008년에 걸쳐 국내개발품(ARPC)와 외국 제품(컨퓨터) 교미교란제의 복숭아순나방과 복숭아심식나방에 대한 무처리구 또는 관행방제구 대비 방제효과, 복숭아순나방에 대한 교미교란율 및 먹이트랩 유인수 등을 비교 조사하였다.

사과원별 교미교란제의 방제효과 비교 : 2007년부터 2008년에 걸쳐 교미교란제의 복숭아순나방에 대한 방제 성공여부를 성페로몬 트랩을 이용한 성충의 발생정도와 주변 환경 및 관리상태 등을 구분하여 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 복숭아순나방 발생 모니터링

표 1. 트랩 형태별 복숭아순나방 성충 유인효율 비교(2006) (마리/트랩)

트랩형태	관행방제 포장			교미교란방제 포장		
	5.7~6.3	6.19~7.19	합계	5.7~6.3	6.19~7.19	합계
유아등 수반트랩	0	0	0	0	0	0
성페로몬 트랩	21	29	50	4	12	16
먹이 트랩	1.5	5.3	6.8	28.0	2.3	30.3

* 유아등(해충유인기) : 번개표 포충용, FL20S BL(Kumho 12)

표 2. 사과원의 복숭아순나방과 복숭아심식나방 발생정도 비교(2006)

구 분		복숭아심식나방			
		심(100<)	다(51~100)	중(10~50)	소(10>)
복숭아순나방	심(250<)	상주 이한우 구미 이병식 포항 손덕용	문경 문영덕 구미 배한영	영천 박용 포항 손동석 군위 시험장2	
	다(151~250)			무주 신상범	충주 박종선 군위 시험장1
	중(50~150)	익산 김완식		포항 조용홍	포항 정영훈 군위 이지영
	소(50>)				무주 민광만

* 성페로몬트랩 연간 유살수 기준

표 3. 년도별 성페로몬트랩 이용 사과원 심식나방류 발생정도(2007, 마리/트랩)

지역 사과원	복숭아순나방			복숭아심식나방		
	2007(A)	2006(B)	증감(B-A)	2007(A)	2006(B)	증감(B-A)
충주 박종선	156	168	-12	4	1	3
문경 김경훈	318	267	51	102	88	14
상주 이한우	787	371	416	161	223	-62
영천 박용	1,152	251	901	24	30	-6
포항 손동석	572	521	51	126	12	114
포항 정영훈	166	140	26	1	0	1
군위 시험장	526	170	356	6	4	2
군위 이지영	269	130	139	6	2	4
평균	493	252	241	54	45	9

표 4. 순별 사과원 심식나방류 성페로몬트랩 발생 상황(2006) (마리/트랩, 9개지역 16개원 평균)

구분	4월			5월			6월			7월			8월			9월	
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중
복숭아순나방	0.3	15	19	73	44	21	3	11	16	10	9	8	14	20	23	17	15
복숭아심식나방	-	-	-	-	-	0.1	5	15	15	6	7	5	9	13	4	3	0

표 5. 순별 사과원 성페로몬트랩 이용 복숭아순나방 발생정도(2007, 마리/트랩)

지역 사과원	4월			5월			6월			7월			8월			9월			합계
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
충주 박종선	0	0	26	70	19	24	0	0	0	1	0	0	3	0	13	0	0	0	156
문경 김경훈	-	-	-	-	2	3	13	41	26	26	12	6	12	16	77	36	27	21	318
상주 이한우	6	45	180	516	16	0	3	4	0	0	4	9	3	1	-	-	-	-	787
영천 박용	34	187	403	162	27	9	24	22	12	6	8	7	20	56	43	37	62	33	1,152
포항 손동석	-	12	86	279	95	27	7	4	6	1	9	5	4	4	3	3	26	1	572
포항 정영훈	-	3	10	40	1	2	16	5	6	6	2	3	11	10	18	23	10	-	166
군위 시험장	-	11	23	120	0	0	0	7	10	14	9	14	21	10	23	27	140	97	526
군위 이지영	-	1	17	42	2	2	0	5	7	13	7	7	34	21	26	21	35	29	269
평균	5	32	93	154	20	8	8	11	8	8	6	6	14	15	25	18	38	23	493

표 6. 년도별 성페로몬트랩 이용 복숭아순나방 발생소장(2007, 마리/트랩)

년도	4월			5월			6월			7월			8월			9월			합계
	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	상	중	하	
2007	5	32	93	154	20	8	8	11	8	8	6	6	14	15	25	18	38	23	493
2006	7	43	113	77	44	13	13	14	19	8	12	17	18	20	26	29	17	-	488

표 7. 사과원별 복숭아순나방 발생과 관리상태 및 지형 구분(2008)

사과원	성페로몬트랩 유인수(마리/트랩)							관리상태	지형
	4월	5월	6월	7월	8월	9월	합계		
칠곡1	17	24	26	89	129	55	340	관리소홀인접	구릉지
칠곡2	54	68	75	99	235	67	598	관리소홀	구릉지
상주1	108	114	74	83	184	147	710	관리소홀	산경사지
상주2	103	105	71	95	160	115	649	관리소홀	평지
상주3	148	123	133	198	271	131	1,004	저농약	평지
상주4	286	310	148	224	161	121	1,250	저농약	평지
상주5	271	329	159	240	393	162	1,554	관리소홀	산인접평지
군위1	222	146	629	137	76	65	1,275	관리소홀인접	평지
군위2	322	328	785	252	109	102	1,898	관리소홀	평지
군위3	129	137	301	93	126	46	832	관리소홀인접	평지
군위4	25	42	40	84	115	134	440	저농약인증	산경사지
의성	68	132	18	37	121	122	498	무농약인접	산인접평지
청송	11	30	1	5	26	49	122	관행방제	산인접평지
영주	512	42	1	0	86	50	691	관행방제	산인접평지
평균	163	138	176	117	157	98	847		

표 8. 경북지역 사과원 심식나방류 발생과 피해 현황(2008)

지역	사과원	연간발생량(마리/트랩)		피해과율(%)		비고
		복숭아 심식나방	복숭아 순나방	복숭아 심식나방	복숭아 순나방	
군위	김만근	3	440	0	0.5	저농약인증
	이지영	23	832	0	0.1	
	사과시8	2	1,275	0	1.0	
	사과시17	138	1,898	3.0	2.2	관리소홀
상주	이학수	397	710	0.4	0.5	저농약인증
	최병수	101	649	0	0.05	저농약인증
	이현복	58	1,004	0	0.1	저농약인증
	김영기	126	1,250	0	0.2	저농약인증
	조성용	34	1,554	0.2	1.0	저농약인증
영주	강이웃	0	691	0.5	0	
의성	남이웃	17	498	0	0.3	저농약인증
청송	김진철	1	122	0	0	
칠곡	장현기	191	340	1.0	8.5	저농약인증
	장이웃	334	598	0.1	1.2	
평균		101.8	847.2	0.4	1.1	

복숭아순나방 발생 모니터링 : 2006년부터 2008년에 걸쳐 복숭아순나방 발생 모니터링 결과 표 1~8과 같이, 복숭아순나방은 일부 농가에서 유인력이 있다고 주장하는 유아등(해충유인기)에는 전혀 유인되지 않았다. 복숭아순나방은 지역 및 사과원별 차이는 있으나 평균 연간 유인수가 2006~2008년에 각각 252, 493, 847마리/트랩으로서 복숭아심식나방의 연간 유인수(각각 45, 54, 102마리) 보다 훨씬 많았고 피해율도 높았다. 발생시기는 4월상순부터 9월하순이나 4월하순~5월상순에 가장 많이 유인되고, 이후는 뚜렷한 피크를 보이지 않았다.

<시험 2> 교미교란제 처리효과 검증 방법 개선

표 9. 교미교란 처리 및 시기별 복숭아순나방에 대한 방제효과 비교(2006)

처 리*	5월하순		7월하순		10월중순	
	피해신초율 (%)	방제가 (%)	피해과율 (%)	방제가 (%)	피해과율 (%)	방제가 (%)
교미교란(C-R)	2.8	74.5	1.4	82.5	4.5	63.1
교미교란(E-DP)	2.5	77.3	2.8	65.0	6.1	50.0
교미교란(S-PA)	2.6	76.4	1.3	83.8	3.6	70.5
관행농약방제	1.4	87.3	0.4	95.0	0.8	93.4
무처리(피해율)	11.0	-	8.0	-	12.2	-

* C-R : 컨퓨저R, E-DP : Exosect DP, S-PA : Sirene PA
(처리별로 신초는 3주 300개, 과실은 5주 200개 내외를 각각 3반복씩 조사)

표 10. 교미교란 처리 및 시기별 복숭아순나방의 성페로몬트랩 유살수 비교(2006)

처 리*	5월중순~6월상순		6월하순~7월중순		8월중순~9월중순		합계, 평균	
	유살수 (♂/트랩)	교미 교란율 (%)	유살수 (♂/트랩)	교미 교란율 (%)	유살수 (♂/트랩)	교미 교란율 (%)	유살수 (♂/트랩)	교미 교란율 (%)
교미교란(C-R)	1	96.2	0	100	2	94.3	3	96.5
교미교란(E-DP)	4	84.6	12	52.0	9	74.3	25	70.9
교미교란(S-PA)	1	96.2	3	88.0	6	82.9	10	88.4
관행농약	21	-	29	-	46	-	96	-
무처리	26	-	25	-	35	-	86	-

* C-R : 컨퓨저R, E-DP : Exosect DP, S-PA : Sirene PA
 (교미교란율 = (무처리 유살수 - 교미교란 처리 유살수) / 무처리 유살수 X 100)

표 11. 교미교란 처리 및 시기별 복숭아순나방의 먹이트랩 유살수와 교미율 비교(2006)

처 리*	5월중순~6월상순		6월하순~7월중순		8월중순~9월중순		합계, 평균	
	유살수 (♀/♀,♂)	교미율 (%)	유살수 (♀/♀,♂)	교미율 (%)	유살수 (♀/♀,♂)	교미율 (%)	유살수 (♀/♀,♂)	교미율 (%)
교미교란(C-R)	7/7	42.9	0/2	-	1(?)	-	7/9	42.9
교미교란(E-DP)	27/58	55.6	4/7	100	1/1	100	32/66	50.9
교미교란(S-PA)	3/7	33.3	1/5	100	-	-	4/12	50.0
관행농약	1/3	0	9/16	100	2(?)	-	10/19	90.0
무처리	7/15	85.7	1/5	100	2/16	50	10/36	80.0

* C-R : 컨퓨저R, E-DP : Exosect DP, S-PA : Sirene PA

교미교란제 처리효과 검증 방법 개선 : 2006년에 3종 교미교란제에 대하여 복숭아순나방 방제효과 시험을 실시하면서 처리효과 검증 방법으로 성페로몬트랩을 이용한 교미교란율과 먹이트랩을 이용한 유인수를 조사한 결과는 표9~11과 같다. 복숭아순나방 교미교란제의 방제효과 여부 검증을 위해서 성페로몬트랩 이용 교미교란율을 조사하는 것도 중요하지만, 먹이트랩을 이용하여 유인되는 암수 성충수와 암컷의 비율 및 교미율을 조사하는 것이 더욱 효율적이라고 생각한다.

<시험 3> 시판용과 개발 교미교란제의 방제효과 비교

표 12. 사과원 처리에 따른 트랩별 복숭아순나방의 경시적 유살수(2007)

처리	사과원	트랩	유인수/트랩							합계
			4월	5	6	7	8	9	10	
관행방제	8번	페로몬 트랩	57	40	20	40	47	144	9	357
		먹이 트랩	101	67	9	5	2	22	1	207
	17번	페로몬 트랩	74	59	37	101	175	290	48	784
		먹이 트랩	57	99	14	16	13	37	3	239
	이지영	페로몬 트랩	28	37	18	20	83	55	1	242

		먹이 트랩	19	29	1	7	5	9	0	70
교미교란 방제	3번 (ARPC)	페로몬 트랩	0	0	0	0	0	4	0	4
		먹이 트랩	37	35	3	3	1	9	1	89
	10번 (컨퓨저)	페로몬 트랩	0	3	1	0	0	1	0	5
		먹이 트랩	65	49	2	3	1	7	1	128
	8번 (ARPC)	페로몬 트랩	-	-	-	0	0	2	0	2
		먹이 트랩	-	-	-	2	2	5	0	9
	9번 (컨퓨저)	페로몬 트랩	-	-	-	0	0	1	0	1
		먹이 트랩	-	-	-	3	0	11	3	17

표 13. 사과원 처리별 먹이트랩에 유살된 복숭아순나방의 암컷 비율(% , 2007)

처리	사과원	4월	5	6	7	8	9	평균
관행 방제	8번	38	40	44	-	29	28	36
	17번	53	61	44	-	41	51	50
	이지영	32	65	45	-	67	33	48
교미교란 방제	3번 (ARPC)	63	63	55	-	100	50	66
	10번 (컨퓨저)	52	54	75	-	(0)	78	65
	8번 (ARPC)	-	-	-	75	(100)	44	60
	9번 (컨퓨저)	-	-	-	-	50	33	42

표 14. 사과원 처리별 먹이트랩에 유살된 복숭아순나방의 암컷의 교미율(2007)

처리	사과원	교미한 암컷 비율(%)							평균
		4월	5	6	7	8	9		
관행 방제	8번	92	100	50	100	88	91	87	
	17번	68	66	75	-	67	84	72	
	이지영	100	100	100	-	100	100	100	
교미교란 방제	3번 (ARPC)	73	47	83	-	(0)	80	71	
	10번 (컨퓨저)	94	85	100	-	(0)	57	84	
	8번 (ARPC)	-	-	-	67	100	75	81	
	9번 (컨퓨저)	-	-	-	-	(50)	75	63	

()는 1-2마리에 대한 교미율로서 평균에서 제외함

표 15. 처리 및 시기별 복숭아순나방과 복숭아심식나방에 대한 방제효과 비교(2007)

처 리*		피해신초율	피해과율(복숭아순나방/복숭아심식나방)			
		5월하순	7월중순	8월하순	9월하순	10월하순)
교미교란A (ARPC)	1차	2.4	0.8/1.0	1.4/1.0	-	1.03/0
	2차	-	0.0/0.0	0.6/0.2	-	0.83/0
	농약	0.3	0.0/0.0	0.2/0.0	0.5/0.0	0.37/0
교미교란B (컨퓨저)	1차	1.6	1.0/0.7	2.2/0.8	-	1.57/0.03
	2차	-	0.0/0.0	1.5/0.4	-	1.33
	농약	0.7	0.0/0.0	0.2/0.0	0.7/0.0	0.33/0.0
관행 농약 방제	8번	1.6	0.0/0.0	0.2/0.0	2.6/0.4	1.33/0.0
	이지영	1.3	0.0/0.0	0.0/0.0	0.0/0.0	0.33/0.0
무처리구		3.9	5.0/10.0	18.0/12.0	40.0/20.0	60.0/23.3

* 처리별로 신초는 10주 500개, 과실은 10주 1,000개내외를 각각 3반복씩 조사

표 16. 복숭아순나방 교미교란제의 효과 비교(2008)

지역 사과원	성페로몬트랩 유인수(교미교란율)			먹이트랩 유인수		
	무처리구	국내개발품 (ARPC)	시판제품 (컨퓨저)	무처리구	국내개발품 (ARPC)	시판제품 (컨퓨저)
칠곡 장현기	598	4(99.3)	0(100)	191	38	32
군위 시험장	1,275	83(93.5)	115(91.0)	271	145	212
군위 보현동	440	14(96.8)	10(97.7)	26	9	31

시판용과 개발 교미교란제의 방제효과 비교 : 2007년부터 2008년에 걸쳐 국내개발품(ARPC)와 외국 제품(컨퓨저) 교미교란제의 복숭아순나방과 복숭아심식나방에 대한 방제효과, 복숭아순나방에 대한 교미교란율 및 먹이트랩 유인수 등을 비교한 결과는 표12~16과 같다. 국내개발품은 시판용 외국제품과 같이 복숭아순나방과 복숭아심식나방에 대하여 방제효과가 인정되었으며, 복숭아순나방에 대한 교미교란율과 교미교란 무처리구 대비 먹이트랩의 성충 유인수 감소도 같은 경향이였다.

<시험 4> 사과원별 교미교란제의 방제효과 비교

표 17. 무농약 이상 친환경 인증 사과원의 교미교란제 사용 효과(2007)

지역 사과원	발생정도		피해정도(%)		교미교란방제 성공여부	비 고
	복숭아 순나방	복숭아 심식나방	복숭아 순나방	복숭아 심식나방		
음성 최병국	중발생	소발생	15~30	0	×~△	산지, 핵과류 혼재
무주 이상오	소발생	소발생	0	0	○	산지 격리, 선홍
	중발생	중발생	5	0	△	평지, 후지
장성 이상수	다발생	소발생	60	5	×	평지
칠곡 장현기	다발생	중발생	70	10	×	관리소홀원 부근
	소발생	소발생	5>	0	○	평지, 격리
의성 이철규	다발생	다발생	45	45	×	방치, 핵과류 부근

* × 실패, △ 일부 성공, ○ 성공

표 18. 복숭아순나방 발생정도에 따른 교미교란제 처리시 방제 성공 여부(2008)

지역 사과원	성페로몬트랩 유인수		먹이트랩 유인수		피해과율(%)		교미교란제 성공 여부
	4월-5월중순(1세대)	4월-9월(총유인수)	4월-5월중순(1세대)	4월-9월(총유인수)	관행구	교미교란구	
칠곡 장현기	95	598	40	47	8.5	0.05	○
군위 시험장	354	1,275	240	271	9.0-22.0	5-9	×
군위 보현동	59	440	23	26	0.5	0.0	○
의성 남창곤	192	498	17	26	0.3	10.0-15.0	×~△
청송 구산리	36	122	22	35	0.0	0.01-0.1	○

* × 실패(살충제 절감 불가능), △ 일부성공(전년대비), ○ 성공(살충제 0~2회 살포)

사과원별 교미교란제의 방제효과 비교 : 2007년부터 2008년에 걸쳐 교미교란제의 복숭아순나방에 대한 방제 성공여부를 성충의 발생정도와 주변 환경 등으로 구분한 결과는 표 17~18과 같다. 복숭아순나방은 성충의 1세대 발생이 100마리이내, 4-9월 연간발생이 600마리 이내로 소발생 또는 중발생 정도에서 교미교란 방제가 성공적이었고, 주변에 관리소홀원이 있거나 핵과류가 혼재 되어 있어서 성충이 다발생 할 경우는 교미교란제의 방제가 성공하기 어려웠다.

4. 적요

복숭아순나방 발생 모니터링 : 2006년부터 2008년에 걸쳐 복숭아순나방 발생 모니터링 결과 표 1~8과 같이, 복숭아순나방은 일부 농가에서 유인력이 있다고 주장하는 유아등(해충유인기)에는 전혀 유인되지 않았다. 복숭아순나방은 지역 및 사과원별 차이는 있으나 평균 연간 유인수가 2006~2008년에 각각 252, 493, 847마리/트랩으로서 복숭아심식나방의 연간 유인수(각각 45, 54, 102마리) 보다 훨씬 많았고 피해율도 높았다. 발생시기는 4월상순부터 9월하순이나 4월하순~5월상순에 가장 많이 유인되고, 이후는 뚜렷한 피크를 보이지 않았다.

교미교란제 처리효과 검증 방법 개선 : 2006년에 3종 교미교란제에 대하여 복숭아순나방 방제효과 시험을 실시하면서 처리효과 검증 방법으로 성페로몬트랩을 이용한 교미교란율과 먹이트랩을 이용한 유인수를 조사한 결과는 표9~11과 같다. 복숭아순나방 교미교란제의 방제효과 여부 검증을 위해서 성페로몬트랩 이용 교미교란율을 조사하는 것도 중요하지만, 먹이트랩을 이용하여 유인되는 암수 성충수와 암컷의 비율 및 교미율을 조사하는 것이 더욱 효율적이라고 생각한다.

시판용과 개발 교미교란제의 방제효과 비교 : 2007년부터 2008년에 걸쳐 국내개발품(ARPC)와 외국제품(컨퓨저) 교미교란제의 복숭아순나방과 복숭아심식나방에 대한 방제효과, 복숭아순나방에 대한 교미교란율 및 먹이트랩 유인수 등을 비교한 결과는 표12~16과 같다. 국내개발품은 시판용 외국제품과 같이 복숭아순나방과 복숭아심식나방에 대하여 방제효과가 인정되었으며, 복숭아순나방에 대한 교미교란율과 교미교란 무처리구 대비 먹이트랩의 성충 유인수 감소도 같은 경향이였다.

사과원별 교미교란제의 방제효과 비교 : 2007년부터 2008년에 걸쳐 교미교란제의 복숭아순나방에 대한 방제 성공여부를 성충의 발생정도와 주변 환경 등으로 구분한 결과는 표 17~18과 같다. 복숭아순나방은 성충의 1세대 발생이 100마리이내, 4-9월 연간발생이 600마리 이내로 소발생 또는 중발생 정도에서 교미교란 방제가 성공적이었고, 주변에 관리소홀원이 있거나 핵과류가 혼재 되어 있어서 성충이 다발생 할 경우는 교미교란제의 방제가 성공하기 어려웠다.

5. 연구결과 활용

연도 (연차)	활용구분	제 목	달성
2006년도 (1년차)	기술이전	복숭아순나방 성충 먹이트랩 유인물질 조성	○
2007년도(2년차)	영농활용	복숭아순나방 성충 먹이트랩 이용 발생 예찰과 대량유살 방법	○
	학술성과 (포스터발표)	사과원에서 복숭아순나방 먹이트랩 이용 성충 발생 조사	○
2008년도 (3년차)	영농활용	사과원 교미교란제 사용을 위한 복숭아순나방 발생 조건	○
	시책건의	대만 수출 사과원의 심식나방류 발생예찰 개선	○

<기술이전(2006)>

이전기술명 : 복숭아순나방 성충 먹이트랩의 유인물질 조성

1. 목 적

복숭아순나방의 발생예찰 및 교미교란제 처리 과원의 효율적인 방제효과 검증과 방제효율 향상

2. 개발기술

복숭아순나방 암수 성충을 유인하는 먹이트랩의 유인물질로 테르페닐아세테이트와 설탕액 등의 조성 내용

표 1. 복숭아순나방 성페로몬트랩과 먹이트랩의 유인력 비교 (2006)

처리 구분	피해과율 (7월하순,%)	성페로몬트랩		먹이트랩		
		수컷 유인수 (마리)	교미교란율* (%)	총유인수 (마리)	암컷비율 (%)	교미율 (%)
교미교란처리A	1.4	3	96.5	9	77.8	42.9
교미교란처리B	2.8	25	70.9	66	48.5	50.9
교미교란처리C	0.3	10	88.4	12	33.3	50.0
관행농약처리	0.4	96	-	19	52.6	90.0
농약 무처리	8.8	86	-	36	27.8	80.0

* 교미교란율 = (무처리 유인수 - 교미교란 사과원 유인수) / 무처리 유인수 X 100

3. 기대효과

- 교미교란제 처리 포장의 발생예찰 및 교미교란 방제효과 검증 가능
- 복숭아순나방 다발생 사과원의 암컷성충 유살로 피해 경감 효과
- 사과 외에 배, 복숭아, 자두 등의 과수원에도 적용확대 가능
- 경제성분석(교미교란제와 먹이트랩 설치로 과실키포해 6% 경감시)

손실적 요소	이익적 요소
○ 감소되는 수입 - 수량감소(kg) X 단가 = 원	○ 증가되는 수입 - 수량증가(kg)X단가 = 2,824,000원 (21,530kg X 0.06 X 2,186원)
○ 증가되는 비용 - 교미교란제, 먹이트랩 셋트 = 900,000원 - 설치,예찰,피해 제거노력= 296,000원 (10시간 X 7,400원 X 4회)	○ 감소되는 비용 - 살충제 절약(4회) = 400,000원 (100,000원 X 4회) - 노동절약시간 X 노임 = 원
계(B) 1,196,000원	계(A) 3,224,000원
● 추정 수익액 (A-B) = 3,224,000 - 1,196,000 = 2,028,000원 / ha	

4. 기술이전내역

- 복숭아순나방의 암수 성충 유인 먹이트랩의 유인제 제조 기술
 - ① 테르페닐아세테이트 용액 100ml 제조
: 따뜻한물 50ml + 테르페닐아세테이트 48.5 ml + 비이온성확산제 1.5ml
 - ② 물 5리터에 황설탕 500g(10%액) 넣고, ①(테르페닐아세테이트용액) 20ml 넣음

<영농활용(2007)>

활용제목 : 복숭아순나방 성충 먹이트랩 이용 발생예찰과 대량유살 방법

활용내용요약 : 복숭아순나방 먹이트랩은 암수 성충의 발생예찰에 이용이 가능하고, 교미교란제가 처리된 사과원의 성충 발생정도 확인에 효과적이며, 발생초기(4월~장마전) 유인효과가 높아 대량유살 효과도 기대됨

I. 요약

1. 활용

- 가. 복숭아순나방의 성충 유인용 테르피닐아세테이트 황설탕 용액을 제조하여 규격트랩에 넣어서 사과나무에 설치후 경시적으로 유인수 조사(2006, 기술이전)
- 나. 사과원의 복숭아순나방 성충 발생예찰 및 대량유살에 이용
- 다. 성페로몬 교미교란제가 처리된 사과원에서는 성충의 발생정도 확인에 효과적임

2. 유사 영농활용 기술과의 차이점 : 없음

3. 현황 및 문제점

- 가. 최근 사과원에서 복숭아순나방의 발생이 증가하여 관행 방제원에서도 피해가 지속적으로 문제되고 있음
- 나. 교미교란제를 처리한 사과원에서는 성페로몬 트랩에 성충이 거의 유인되지 않으므로 교미교란제의 방제효과 검증이 어려워서 별도의 검증방법이 필요함

4. 주요연구결과

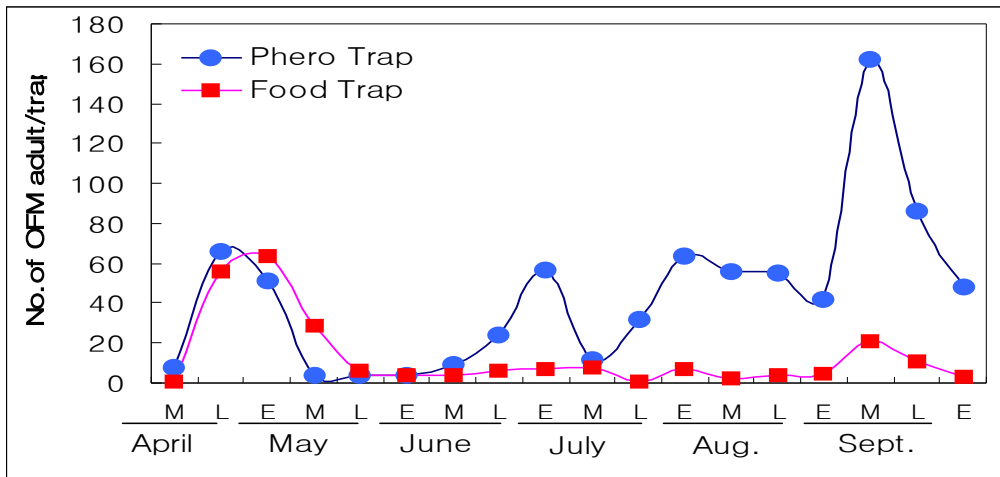


그림 1. 복숭아순나방 다발생 사과원의 트랩별 경시적 유살수(2007)

표. 처리별 복숭아순나방 유인수, 암컷 및 교미율 차이(2006-2007)

처리	사과원	유인수 (마리/트랩)		암컷 비율(%)		교미 암컷 비율(%)	
		성페로몬	먹이트랩	성페로몬	먹이트랩	성페로몬	먹이트랩
관행방제	사○1	357	207	0	36	-	87
	사○2	784	239	0	50	-	72
	이○○	242	70	0	48	-	100
교미교란	ARPC 1차	4	89	0	66	-	71

방제	컨퓨저 1차	5	128	0	65	-	84
	ARPC 2차	2	9	0	60	-	81
	컨퓨저 2차	1	17	0	42	-	63

* 조사기간 : 4~10월(ARPC, 컨퓨저 2차는 7~10월)

표. 무농약 이상 친환경 인증 사과원의 교미교란제 사용 효과(2007)

지역 사과원	발생정도		피해정도(%)		비 고
	복숭아 순나방	복숭아 심식나방	복숭아 순나방	복숭아 심식나방	
음성 최병국	중	소	15~30	0	평지, 복숭아 혼재
무주 이상오	소	소	0	0	산지 격리, 선홍
	중	중	5	0	평지, 후지
장성 이상수	다	소	60	5	평지
칠곡 장현기	다	중	70	10	산지, 핵과류 혼재
	소	소	5	0	평지, 격리
의성 이철규	다	다	45	45	관리 소홀

* 발생정도 : 성페로몬트랩에 복숭아순나방/복숭아심식나방의 연간 유인수를 소 50/10마리 이하, 중 51~200/11~50마리, 다 201/51마리 이상으로 구분

5. 기대효과

- 가. 복숭아순나방 발생예찰에 이용 및 교미교란제의 방제효과 검증 가능
- 나. 다발생 사과원의 초기 암컷성충 대량유살로 피해 및 농약 살포회수 경감 효과
- 다. 사과 외에 배, 복숭아, 자두 등의 과수원에도 적용확대 가능
- 라. 경제성분석(교미교란제와 먹이트랩 설치로 과실피해 6% 경감시)

손실적 요소	이익적 요소
○ 증가되는 비용 - 교미교란제, 먹이트랩 세트 = 900,000원 - 설치,예찰,피해 제거노력= 296,000원 (10시간 X 7,400원 X 4회) 계(B) 1,196,000원	○ 증가되는 수입 - 수량증가(kg)X단가 = 2,824,000원 (21,530kg X 0.06 X 2,186원) ○ 감소되는 비용 - 살충제 절약(4회) = 400,000원 (100,000원 X 4회) - 노동절약시간 X 노임 = 원 계(A) 3,224,000원
● 추정 수익액 (A-B) = 3,224,000 - 1,196,000 = 2,028,000원 / ha	

6. 적 요

- 가. 복숭아순나방의 성충 유인용 테르피닐아세테이트 황설탕 용액을 제조하여 약1리터를 규격 트랩에 넣어서 사과나무에 눈높이로 설치(2006, 기술이전)
- 나. 트랩 설치수는 발생예찰용은 사과원별 3개 정도이나, 대량유살용은 복숭아순나방 발생 상황 및 재배면적 등에 따라 증가함
- 다. 유인수 조사는 나방 발생 최성기는 주2회, 기타 시기는 주1회이상 조사하고, 트랩안의 유인충과 오염물을 뜯쳐로 제거한 후에 테르피닐아세테이트용액 0.5ml(안약병 5방울)를 첨가함
- 라. 매4주마다 트랩 바닥의 10% 용액을 남기고, 새로운 유인용액으로 교체해 줌

<영농활용(2008)>

활용제목 : 사과원 교미교란제 사용을 위한 복숭아순나방 발생조건

1. 현황 및 문제점

- 사과 과실을 가해하는 심식나방류 방제를 위하여 교미교란제가 사용되고 있음
- 교미교란제 사용 사과원에서도 복숭아순나방이 다발생 하면 살충제 절감이 어려움

2. 시험성적

(표) 무농약 이상 친환경 인증 사과원의 교미교란제 사용 효과(2007)

지역 사과원	발생정도		피해정도		교미교란방제 성공여부	비 고
	복숭아 순나방	복숭아 심식나방	복숭아 순나방	복숭아 심식나방		
음성 최병국	중발생	소발생	15~30	0	×~△	산지 격리, 선홍
무주 이상오	소발생	소발생	0	0	○	평지, 후지
	중발생	중발생	5	0	△	평지
장성 이상수	다발생	소발생	60	5	×	산지, 핵과류 혼재
칠곡 장현기	다발생	중발생	70	10	×	평지, 격리
	소발생	소발생	5>	0	○	관리 소홀
의성 이철규	다발생	다발생	45	45	×	구릉지, 방치

* × 실패, △ 일부 성공, ○ 성공

(표) 복숭아순나방 발생정도에 따른 교미교란제 처리시 방제 성공 여부(2008)

지역 사과원	성페로몬트랩 유인수		먹이트랩 유인수		피해과율(%)		교미교란제 성공 여부
	4월-5월중순 (1세대)	4월-9월 (총유인수)	4월-5월중순 (1세대)	4월-9월 (총유인수)	관행구	교미교란구	
칠곡 장현기	95	598	40	47	8.5	0.05	○
군위 시험장	354	1,275	240	271	9.0-22.0	5-9	×
군위 보현동	59	440	23	26	0.5	0.0	○
의성 남창곤	192	498	17	26	0.3	10.0-15.0	×~△
청송 구산리	36	122	22	35	0.0	0.01-0.1	○

* × 실패(살충제 절감 불가능), △ 일부성공(전년대비), ○ 성공(살충제 0~2회 살포)

3. 적요

- 사과원에서 교미교란제 사용을 위해서는 발생예찰 성페로몬 트랩을 이용하여 복숭아순나방 발생정도를 조사하여, 발생량이 낮은 상태를 확인하는 것이 중요함. 교미교란 방제는 1세대(4월~5월중순) 또는 연간 발생량이 각각 50, 500마리 이내인 경우 성공할 확률이 높았음
- 복숭아순나방이 다발생하는 사과원은 적용 약제를 사용하여 발생 밀도를 낮게 조절한 후에 교미교란제를 사용하는 것이 좋음

<시책건의의(2008)>

시책건의의명 : 대만 수출 사과원의 심식나방류 발생예찰 개선

1. 현황 및 문제점

- 대만 사과 수출시 복숭아심식나방이 검역해충이며 복숭아순나방은 검역해충이 아님
- 대만 수출 사과원은 복숭아심식나방 성페로몬트랩 설치, 10일마다 조사, 트랩당 3마리 이상 발생시 방제 실시
- 수확전 재배지검사에서 복숭아심식나방 피해(유충) 발견시 불합격
- 복숭아심식나방과 복숭아순나방의 피해와 유충 형태가 비슷하여 육안 구분 곤란
- 2008년 재배지검사에서 불합격 사과원 비율이 높았음(식검)

2. 시험성적

(표) 경북지역 사과원 심식나방류 발생과 피해 현황(2008)

지역	사과원	연간발생량(마리/트랩)		피해과율(%)		비고
		복숭아 심식나방	복숭아 순나방	복숭아 심식나방	복숭아 순나방	
군위	김만근	3	440	0	0.5	저농약인증
	이지영	23	832	0	0.1	
	사과시8	2	1,275	0	1.0	
	사과시17	138	1,898	3.0	2.2	관리소홀
상주	이학수	397	710	0.4	0.5	저농약인증
	최병수	101	649	0	0.05	저농약인증
	이헌복	58	1,004	0	0.1	저농약인증
	김영기	126	1,250	0	0.2	저농약인증
	조성용	34	1,554	0.2	1.0	저농약인증
영주	강이웃	0	691	0.5	0	
의성	남이웃	17	498	0	0.3	저농약인증
청송	김진철	1	122	0	0	
칠곡	장현기	191	340	1.0	8.5	저농약인증
	장이웃	334	598	0.1	1.2	
평균		101.8	847.2	0.4	1.1	

3. 결과요약

- 사과원에서는 복숭아순나방이 복숭아심식나방 보다 발생량은 약8배, 피해과율은 약3배가 많음

4. 건의

- 대만 수출 사과원은 복숭아심식나방과 복숭아순나방 성페로몬트랩을 설치하고, 10일마다 발생량을 조사하여 적기 방제토록 함

Efficacy Test of Food Trap of Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* (Busck) in the Conventional Chemical Spray Blocks

and the Pheromone Mating Disruption Blocks of Apple Orchards

Lee Soon-Won, K.H. Choi, D.H. Lee, D.A. Kim, Y.G. Kim¹, C.W. Park² and J.K. Cheong

Apple Experiment Station, NHRI, RDA, Gunwi 716-812

¹Andong National University, Andong 760-749

²Green Agro Tech, Inc., Kyungsan 712-240

ABSTRACT

This study was performed to estimate the attraction efficacy of food trap in comparison with pheromone trap of oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck) in the conventional chemical spray blocks and the pheromone mating disruption blocks of apple orchards in Apple Experiment Station, Gunwi. Though there was more than 95% reduction in male captures by pheromone trap in the mating disruption blocks, female and male captures by food trap were 89 to 128 moths in the mating disruption blocks and 69 to 239 moths(29 to 58%) per year relative to the male captures(242 to 784 moths) by pheromone trap in the conventional chemical spray blocks. Efficacy of food trap was very high in the spring(April and May), but not in summer in comparison with pheromone trap. 42 to 66% of captured moths in food trap were females in the mating disruption blocks in comparison with 36 to 50% in the conventional chemical spray blocks. 63 to 84% of captured female moths were mated in the mating disruption blocks in comparison with 72 to 100% in the conventional chemical spray blocks.

MATERIALS AND METHODS

- Experimental sites : Apple orchards of Apple Experiment Station in Gunwi
- MDO : D(Z12Ac : E12Ac : Z12OH 88.5 : 5.7 : 1.0% (160g/ha)
MDO : E(Z12Ac : E12Ac : Z12OH 87.3 : 3.6 : 9.1% (150g/ha) + permethrin
- Pheromone trap : Green Agro delta trap(Model No. 50106,
Z12Ac : E12Ac : Z12OH 88.5 : 5.7 : 1.0%)
- Food trap : Efecto-fly trap(Avond Pty. Ltd., Australia,
Terpinyl acetate + 10% suger solution)
- Female reproductive organ under microscope(25, 50X) and SEM(500X)



Pheromone(left) and food(right) trap



Moth capture in food trap

RESULTS

Fig. 1. Mean captures of oriental fruit moth per 10 days in food and pheromone traps in apple orchards treated with conventional chemicals.

Trap	April		May			June			July			Aug.			Sept.			Oct.
	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E	M	L	E
Phero Trap	8	66	51	4	4	4	9	24	57	12	32	64	56	55	42	162	86	48
Food Trap	1	56	64	29	6	4	4	6	7	8	1	7	2	4	5	21	11	3

* 그래프로 변형(세로축 : No. of OFM)

Table 1. Mean captures of oriental fruit moth per month in food and pheromone traps in apple orchards treated with conventional chemicals(CCO) and with pheromone mating disruptors(MDO)

Orchard	Block	Trap	No. of oriental fruit moth / trap							
			April	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Total
CCO	A	Phero Trap	57	40	20	40	47	144	9	357
		Food Trap	101	67	9	5	2	22	1	207
	B	Phero Trap	74	59	37	101	175	290	48	784
		Food Trap	57	99	14	16	13	37	3	239
	C	Phero Trap	28	37	18	20	83	55	1	242
		Food Trap	18	29	1	7	5	9	0	69
MDO	D	Phero Trap	0	0	0	0	0	4	0	4
		Food Trap	37	35	3	3	1	9	1	89
	E	Phero Trap	0	3	1	0	0	1	0	5
		Food Trap	65	49	2	3	1	7	1	128
	D'	Phero Trap	-	-	-	0	0	2	0	2
		Food Trap	-	-	-	2	2	5	0	9
	E'	Phero Trap	-	-	-	0	0	1	0	1
		Food Trap	-	-	-	3	0	11	3	17

Table 2. Female ratios of oriental fruit moth per month in food trap in apple orchards treated with conventional chemicals(CCO) and with pheromone mating disruptors(MDO)

Orchard	Block	Female ratio(%)						
		April	May	June	July	Aug	Sept	Average
CCO	A	38	40	44	-	29	28	36
	B	53	61	44	-	41	51	50
	C	37	65	45	-	67	33	49
MDO	D	63	63	55	-	100	50	66
	E	52	54	75	-	(0)	78	65
	D'	-	-	-	75	(100)	44	60
	E'	-	-	-	-	50	33	42

Table 3. Mated female ratios of oriental fruit moth per month in food trap in apple orchards treated with conventional chemicals(CCO) and with pheromone mating disruptors(MDO)

Orchard	Block	Mated female ratio(%)						
		April	May	June	July	Aug	Sept	Average
CCO	A	92	100	50	100	88	91	87
	B	68	66	75	-	67	84	72

	C	100	100	100	-	100	100	100
MDO	D	73	47	83	-	(0)	80	71
	E	94	85	100	-	(0)	57	84
	D'	-	-	-	67	100	75	81
	E'	-	-	-	-	(50)	75	63

CONCLUSION

- Food trap has the possibility as monitoring and mass trapping tools of oriental fruit moth
- Food trap was more effective than pheromone trap to investigate the control effect to oriental fruit moth in the mating disruption orchards

REFERENCES

- Kim, Dong-Soon, K.S. Boo and H.Y. Jeon. 2004. Evaluation of Pheromone Lure of *Grapholita molesta* (Busck) and Forecasting Its Phenological Events in Suweon. Korean J. Appl. Entomol. 43(2): 281 ~ 289.
- Kim, Yong-Gyun, S.W. Bae, K.H. Choi, D.H. Lee and S.W. Lee. 2007. Efficacy Test of Mating Disrupters Using Food Trap of Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* (Busck). Korean J. Appl. Entomol. 46(2): 269 ~ 274.
- Il'ichev, A.V., L.L. Stelinski, D.G. Williams and L.J. Gut. 2006. Sprayable Microencapsulated Sex Pheromone Formulation for Mating Disruption of Oriental Fruit Moth, *Grapholita molesta* (Busck) in Australian Peach and Pear Orchards. J. Econ. Entomol. 99(6): 2048 ~ 2054.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

연구 시작 기점의 연도별 목표와 연구 내용은 다음과 같다.

구분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구범위
1차년도	2006	교미교란 기술 기반화	○ 교미교란제 초기 합성	○ 성페로몬의 주성분 물질에 대한 문헌조사 ○ 예비실험 (알려진 여러 가지 합성방법에 의한 물질의 합성) ○ 새로운 합성방법 연구
			○ 교미교란제 기초 생물검정	○ 복숭아순나방 실내 사육 ○ 슛컷 교미 반응 행동 분석 ○ 상용 성분을 이용한 유인력 ○ 상용성분을 이용한 실내 교란
			○ 교미교란제 방출기 개발	○ PE 튜브 재질 개발 ○ 방출기 방출 유효성분 측정 ○ 야외 유인력 기간 검증
			○ 교미교란 야외 적용 기술 개발	○ 복숭아순나방 연간 모니터링 ○ 농가 표준 처리법에 따른 상용 교미교란 처리 효능 검증
2차년도	2007	교미교란 소규모 적용 기술 개발	○ 교미교란제 소규모 합성	○ 합성방법 개선 ○ 생물검정을 위한 주성분 물질 합성 및 정제
			○ 교미교란제 생물검정	○ 합성 페로몬 QC 기술 개발 ○ 합성페로몬 실내교미교란
			○ 교미교란제 방출기 개발	○ PE 튜브 개량형 개발 ○ 방출기 방출 유효성분 측정 ○ 야외 유인력 기간 검증
			○ 교미교란 야외 적용 기술 개발	○ 복숭아순나방 연간 모니터링 ○ 복숭아순나방 실내 사육 ○ 효과적 트랩배치 결정
3차년도	2008	교미교란 현장 적용 기술 개발	○ 교미교란제 대량 합성	○ 야외 실증시험을 위한 물질의 대량 합성 ○ Pheromone dispenser의 약효 방출성 검사
			○ 교미교란제 생물검정	○ 합성 페로몬 QC ○ 페로몬 방출기 QC
			○ 교미교란제 방출기 개발	○ 방출기 재질 변화형 개발 ○ 방출기 방출 유효성분 측정 ○ 야외 유인력 기간
			○ 교미교란 야외 적용 기술 개발	○ 복숭아순나방 연간 모니터링 ○ 복숭아순나방 실내 사육 ○ 합성교미교란제 및 방출기를 이용한 포장적용 및 효능 결정

이러한 연도별 목표에 따라 평가 기준표는 다음과 같이 제안하였다.

구분	연도	세부연구개발 목표	가중치	평가의 착안점 및 기준
1차 년도	2006	페로몬 합성 기반 확립	30 %	기존 합성법에 의한 합성 가능성
		생물검정 기반 확립	20 %	숫컷 행동 반응 결정
		방출기 모형 개발	30 %	방출량, 조성 및 지속기간
		관행 포장 효과 실시	20 %	야외 교미교란과 피해를 상관성
2차 년도	2007	소규모 페로몬 합성	30 %	단가 절약형 합성 기술 개발
		교미교란 실내 분석법 확립	20 %	실내 교미교란 기술 개발
		방출기 개량형 완성	30 %	방출량, 조성 및 지속기간
		효과적 트랩배치 결정	20 %	최적 트랩배치법 개발
3차 년도	2008	대규모 페로몬 합성	30 %	합성 페로몬의 순도
		교미교란제 생물검정 QC 확립	20 %	실내 교미교란제 QC 기술
		방출기 포장 어려움 해결	30 %	방출량, 조성 및 지속기간
		교미교란 포장 효과 검증	20 %	야외 교미교란과 피해를 상관성
최종 평가	2008	페로몬 합성 기술	30 %	단가와 순도에서 양호한 페로몬
		교미교란제 실내 QC 기술	20 %	실내 평가와 야외 평가의 연계성
		지속형 방출기 개발	30 %	유효 방출량, 조성 및 지속기간
		교미교란제 야외 QC 기술	20 %	야외 교미교란과 피해를 상관성

연구가 종료된 시점에서 본 연구는 목표에 상응한 다음의 결과를 나타냈다.

- 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.
- 왁스형 페로몬 방출기를 제작하여 사과원에 발생하는 복숭아순나방(*Grapholita molesta*) 밀도를 억제하기 위한 교미교란제로 응용하였다.
- 개발된 왁스형 교미교란제를 기준량(350평당 120g)으로 처리하고 연간 복숭아순나방의 밀도 변화와 기주 피해를 분석한 결과, 현재 상용화되고 있는 교미교란제(Isomate®)와 뚜렷한 차이 없이 복숭아순나방 밀도 억제와 과신피해 감소효과를 나타냈다. 본 연구는 또한 교미교란 처리지역 가장 자리에 먹이트랩을 배치할 경우 비처리지역에서 유입되는 교미된 암컷의 이동을 막는 효과를 나타내는 것으로 확인하였다.

궁극적 연구목표는 교미교란제를 국산화 개발하여 국내 농가 현장에 적용하는 농산업을 육성하는 데 있다. 본 연구는 이러한 궁극적 목표에 다가가는 결과를 만들었으며, 이를 뒷받침하는 다수의 연구 논문과 발표 및 특허출원을 이루어 냈다. 추후 본 연구의 주관기관인 (주) 그린아그로텍은 본 기술을 바탕으로 국내 복숭아순나방 교미교란 시장은 물론이고 해외 시장까지 개척하려 한다.

제 5 장 연구개발 성과 및 성과활용 계획

1. 실용화·산업화 및 추가연구 계획

본 연구에서 개발된 왁스형 교미교란제의 실용화·산업화는 아래와 같은 계획으로 (주)그린아그로텍에서 실시 할 계획이다.

(1) 본 연구개발 성과물 기준 산업화 타당성

- ① 교미교란제 제조 및 재료의 국산화로 수입품 대비 가격 경쟁력 우수
- ② 국산화로 적시적기에 원활한 보급 가능
- ③ 본 연구개발 교미교란제에 대한 국내 적용 기술개발 및 기술축적으로 적절한 포장배치(효과증대 및 위험도감소)와 문제 발생시 빠른 feedback이 가능
- ④ 교미교란제의 국내 사과원에서의 효과 검증 완료(제 3장 참고)
- ⑤ 복숭아순나방 성페로몬 유인력 효과 검증 완료(제 3장 참고)

(2) 본 연구개발 성과물 기준 산업화 지연이유

- ① 산업화 보급을 위한 대량생산 시스템 설비 미구축
- ② 교미교란제 지속 기간 문제 (약 3개월)
 - 복숭아순나방의 경우 4월부터 발생하여 10월 중순까지 활동
- ③ 복숭아순나방 성페로몬의 가격 문제
 - 가격 : 미국(1g/4천원) < 연구결과물(한국)(1g/1만원) < 일본(1g/2만원)
 - 페로몬 성능 : 연구결과물(한국) ≥ 미국 > 일본

(3) 실용화 및 산업화를 위한 계획

년도	계획 내용	
	산업화 시스템 기반 계획	산업화 연구 계획
2009	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교미교란제 대량생산 시스템 설비 준비 ○ 대량생산 제조 공정 표준화 연구 진행 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교미교란제 지속 기간 연장 연구 <ul style="list-style-type: none"> -소재 및 첨가물 발굴 ○ 교미교란제 2회처리 기술 효과 연구 <ul style="list-style-type: none"> -전·후기 성페로몬량 동일
2010	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교미교란제 대량생산 시스템 설비 구축 ○ 대량생산 제조 공정 표준화 연구 진행 <ul style="list-style-type: none"> -재료와 생산물 관계의 수율 표준화 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교미교란제 지속 기간 연장 연구 <ul style="list-style-type: none"> -현장 적용 및 feedback ○ 교미교란제 2회처리 기술 효과 연구 <ul style="list-style-type: none"> -전·후기 성페로몬량 틀림
2011	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대량생산 제조 공정 표준화 ○ 본 연구 성과 교미교란제 홍보 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 교미교란제 지속기간 연장 기술 개발 ○ 2회처리 기술 효과 정립 ○ 상품성 높은 교미교란제 완성
2012	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상품화 - 경북 및 사과 주력 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상품화 - feedback 및 보완
2013	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상품화 - 전국 및 전체 과수 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 상품화 - feedback 및 보완

(4) 국제화 계획

구 분	내 용
해외시장조사	○ Kotra, 중소기업진흥공단 등 정부지원사업 참여를 통한 전략지역선정, 자사제품 반응조사, 시장규모 파악 및 경쟁업체 파악에 따른 마케팅 전략(4Ps기반) 수립
해외마케팅	○ On-Off line 활용 - 온라인 해외카탈로그 및 제품포장디자인 정부지원사업 참여 - 유명검색엔진등록(구글 등) - 전략지역 관심바이어 조사 등을 통한 중소기업진흥공단 무역사절단 참가 - 해외유명전시회 참여

2. 교육·지도·홍보

본 연구 성과물의 실용화·산업화를 담당하는 (주)그린아그로텍은 매년 페로몬과 페로몬제품을 개개인의 농가, 지역의 작목반, 농업기술센터, 도농업기술원 등지에서 또는 (주)그린아그로텍 본사 교육실에서 교육·지도·홍보 등을 적극적으로 실시하고 있다.

또한, 농업관련 전시회에 참석하여 제품 홍보에 노력하고 있다. 역대 참석한 전시회는 TAMAS, 농림과학기술대전, 서울국제원예전시회, 농림수산식품과학기술대전, 울진친환경박람회, 일본국제원예전시회, 네덜란드국제원예전시회, 각 도농업기술원전시회 등이 있으며 앞으로 도 계속해서 참석하여 본 연구의 성과물인 교미교란제 제품 홍보를 진행할 것이다.

구 분	내 용	
교육·지도	대 상	농민, 농업지도사 등
	장 소	농가, 지역의 작목반, 농업기술센터, 도농업기술원
	비 고	매년 실시하고 있음
홍보	대 상	농민, 농업관련직 종사자
	방 법	전시회 참석, 매스컴 활용(농업관련 소식지)
	전시회	농림과학기술대전, 서울국제원예전시회, 농림수산식품과학기술대전, 일본국제원예전시회, 네덜란드국제원예전시회, TAMAS, 울진친환경 박람회, 각 도농업기술원전시회
	비 고	상기 전시회에 참석해 제품 홍보를 진행했었고, 앞으로도 계속해서 매년 전시회에 참석하여 제품 홍보를 진행할 계획

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 복숭아순나방 성페로몬 합성 기술 및 교미교란제 사용 면적

(1) 페로몬가격

회 사	국 적	요 약
베도키안(Bedoukian)	미국	○ 약 70종 purity 95%이상 ○ 1g당/ 3불 약 4,000원
신에츠(Shin-etsu)	일본	○ 약 60종이상 purity 약 92% ○ 1g당/ 1,500엔 약 20,000원
캠텍(Chemtech)	네덜란드	○ 340종 purity 95%이상 ○ 1g당/ 10만원-100만원까지 다양, 소량 다품종 생산
페로뱅크(Pherobank)	네덜란드	○ 캠텍과 기술수준 동일 ○ 페로몬루어 형태로 판매 (약 200종의 곤충)
ISCA	미국	○ 약 140종 purity 95% ○ 1g당/ 3-6만원

(2) 교미교란제 사용 면적

국적	면적	국적	면적
전 세계	약 1,000,000ha		
미국	407,000ha	유럽	322,000ha
아프리카 (남아프리카공화국)	45,000ha	남아메리카(브라질, 아르헨티나, 칠레)	75,000ha
일본	15,400ha	멕시코	10,000ha
호주	21,000ha	기타	70,000ha

2. 복숭아순나방 교미교란제 방출기 처리 기술

(1) Rice RE, Atterholt CA, Delwiche MJ, Jones RA (1997) efficacy of mating disruption pheromones in paraffin emulsion dispensers. (파라핀 에멀전 디스펜서의 교미교란효과) IOBS WPRS Bull 20:151-161

요약 : 파라핀과 물의 스프레이 에멀전으로 혼합 49.4-76.6g/ha 의 유효성분사용 8~12주 효과, 80-90%교미교란억제

(2) Atterholt CA, Delwiche MJ, Rice RE, Krochta JM (1998) Study of biopolymers and paraffin as potential controlled-release carriers for insect pheromones. (성페로몬 방출 제어로 파라핀과 바이오폴리머연구)

J Agric Food Chem 46:4429-4434

요약 : 파라핀이 제어된 방출 운반체로써 전분이나 단백질보다 더 뛰어난 효과발휘

(3) Atterholt CA, Delwiche MJ, Rice RE, Krochta JM(1999) Controlled release of insect pheromones from paraffin wax and emulsions (파라핀왁스 에멀전에서 성페로몬의 제어된 방출) Journal of Controlled Release Volume 57, Issue 3

요약 : 파라핀30%, 페로몬:4%, 콩기름: 4%, 비타민E:1% 유화제:2% 27℃에서 100일간 0.4-2mg/day 방출, 38℃ 이상에서 페로몬 산화 발생

(4) de Lame FM (2003) Improving mating disruption programs for the Oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Busck): efficacy of new wax-based formulations and effects of dispenser application height and density. M.S. thesis, Michigan State University, 172 pp

요약 : 새로운 왁스 기반 디스펜서 제제의 효과 (복숭아순나방을 위한 교미교란개선프로그램)

(5) Stelinski LJ, Mallinger RE, Epstein DL, Reed TP, Miller JR (2005) Small plot trials documenting effective mating disruption of Oriental fruit Moth by using high densities of wax-drop pheromone dispensers, (고밀도의 왁스형 페로몬 디스펜서를 사용시 순나방의 효과적인 교미교란효과 문서화한 소규모포장실험) J Econ Entomol 98:1267-1274

요약 : 5%의 페로몬을 함유한 0.1ml 파라핀 왁스 도포의 다양한 배치밀도의 효과 비교

나무당 30개도포가 가장 효과적(8,200/ha), 두 번 처리필수

(6) Evaluation of hand-applied SPLAT-OFM for disruption of oriental fruit moth. *Grapholita molesta*(Busck) by L.L. Stelinski, L.J.Gut Michigan State University

요약 : 복숭아순나방을 위한 손으로 처리된 SPLAT-OFM(ISCA 교미교란제)의 평가

2.5g씩 총 500/ha 설치, 4개월 99%교미교란억제

(7) L. L. Stelinski · J. R. Miller · Ledebuhr R, Gut LJ(2006) Mechanized applicator for large scale field deployment of paraffin-wax dispensers of pheromone for mating disruption in tree fruit. (파라핀왁스 디스펜서의 교미교란효과를 위한 대단위포장처리를 위한 기계적인 처리기) J Econ Entomol 99:1705-1710.

요약 : 5%의 페로몬을 가진 파라핀왁스 에멀전은 10ml의 왁스를 160개 지점의 나무에 처리(0,04ml/개)

(8) L. L. Stelinski · J. R. Miller · R. Ledebuhr · Season-long mating disruption of *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) by one machine application of pheromone in wax drops (SPLAT-OFM) (왁스형 디스펜서의 기계적인 처리에 의한 복숭아순나방의 교미교란) J Pest Sci (2007) 80:109-117

요약 : 1.6kg/ha 나무당 8ml 로 4월 24일 처리 시 98%교미교란효과 왁스 도포량 평균 0.38 ±0.16g-4.3±0.5g 일 때 0 ~ 14일 · 15 ~ 76일의 방출율은 각각 21.4와 5.3µg/h 이다.

제 7 장 참고문헌

- 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.
- 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.
- Bae, S., M. Shin and Y. Kim. 2006. Impaired antennae of field-captured males of oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, in apple orchard and its ultrastructural analysis. J. Basic Life Res. Sci. 6: 24-27.
- 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. L.I. Gilbert, K. Iatrou and S.S. Gill. Elsevier, New York.
- Barcenas, N.M., T.R. Unruh and L.G. Neven. 2005. DNA diagnostics to identify internal feeders (Lepidoptera: Tortricidae) of pome fruits of quarantine importance. J. Econ. Entomol. 98: 299-306.
- 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.
- Bochert, D.M., R.E. Stinner, J.F. Walgenbach and G.G. Kennedy. 2004. Oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae) phenology and management with mothoxyfenozide 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.
- Boo, K.S., Y.H. Song, J.H. Lee and Y.J. Ahn. 1995. Studies in developing basic techniques for an integrated management program for apple insect pests. pp. 151-152. The final report of special project of RDA.
- Bragburn, J.M. and J.P. Bacon. 2004. Control of central synaptic specificity in insect sensory neurons. Annu. Rev. Neurosci. 27: 29-51.
- 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.
- 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 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.
- Clary, D.O. and D.R. Wolstenholme. 1985. The mitochondrial DNA molecule of *Drosophila yakuba*: nucleotide sequence, gene organization, and genetic code. J. Mol. Evol. 22: 252-271.

- Clary, D.O. and D.R. Wolstenholme. 1987. *Drosophila* mitochondrial DNA: conserved sequence in the A+T-rich region and supporting evidence for a secondary structure model of the small ribosomal RNA. *J. Mol. Evol.* 25: 116-125.
- de Bruijn, M.H.L. 1983. *Drosophila melanogaster* mitochondrial DNA: a novel organization and genetic code. *Nature* 304: 234-241.
- Dickens, J.C. 1979. Electrophysiological investigations of olfaction in bark beetles. *Bull. Soc. Entomol. Suisse* 52: 203-216.
- Dickens, J.C. and T.L. Payne. 1978. Structure and function of the sensilla on the antennal club of the southern pine beetle, *Dendroctonus frontalis* Zimmerman (Coleoptera: Scolytidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.* 17: 251-265.
- 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.
- Fettens, M. and E.A. Temu. 2003. Species-specific primer for identification of *Anopheles quadriannulatus* sp. B. (Diptera: Culicidae) from Ethiopia using a multiplex polymerase chain reaction assay. *J. Med. Entomol.* 40: 112-115.
- 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 gossypure in several cotton growing areas of the world. *J. Econ. Entomol.* 72: 758-762.
- Garesse, R. 1988. *Drosophila melanogaster* mitochondrial DNA: gene organization and evolutionary considerations. *Genetics* 118: 649-663.
- George, J.A. 1965. Sex pheromone of the oriental fruit moth *Grapholita molesta* Busck (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.* 97: 1002-1007.
- Harrison, R.G. 1989. Animal mtDNA as a genetic marker in population and evolutionary biology. *Trends Ecol. Evol.* 4: 6-11.
- 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.
- Hildebrand, J.G. and G.M. Shepard. 1997. Mechanisms of olfactory discrimination: converging evidence for common principles across phyla. *Annu. Rev. Neurosci.* 20: 595-631.
- 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.
- HsuChen, C.-C. and D.T. Dubin. 1984. A cluster of four transfer RNA genes in mosquito mitochondrial DNA. *Biochem. Int.* 8: 385-391.
- HsuChen, C.-C., R.M. Kotin and D.T. Dubin. 1984. Sequences of the coding and flanking regions of the large ribosomal subunit RNA gene of mosquito mitochondria. *Nucleic Acids Res.* 12: 7771-7785.
- 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.
- 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. Pest. Sci.* 11: 46-51.
- 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.
- Kaissling, K.E. 1974. Sensory transduction in insect olfactory receptors. In : Aenicke L (ed), *Biochemistry of Sensory Functions*. Springer, Berlin, pp 243-273.
- Kaissling, K.E. 1987. Wright lectures on insect olfaction. In : Colbow K (ed), *Insect Olfaction*. Simon Fraser University Press, Burnaby, BC, Canada, pp 28-32.
- Kaissling, K.E. 1998. Flux detectors versus concentration detectors: two types of chemoreceptors. *Chem. Senses* 23: 99-111.
- Kampen, H., A. Sternberg, J. Proft, S. Bastin, F. Schaffner, W.A. Maier and H.M. Seitz. 2003. Polymerase chain reaction-based differentiation of the mosquito sibling species *Anopheles claviger* S.S. and *Anopheles petragrani* (Diptera: Culicidae). *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 69: 195-199.
- 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. 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., M.L. Lee and C. Chung. 1998. Study on the genetic variation of the mitochondrial DNA in the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), using PCR-RFLP. *Kor. J. Appl. Entomol.* 37: 23-30.
- Knipling, E. F. 1979. *The Basic Principles of Insect Population Suppression and Management*. United States Department of Agriculture Handbook 512, chapter 10.
- Knutson, A.E., M.K. Harris and J.G. Millar. 1998. Effects of pheromone dose, lure age, and trap design on capture of male pecan nut casebearer (Lepidoptera: Pyralidae) in pheromone-baited traps. *J. Econ. Entomol.* 91: 715-722.
- Kovinci, 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, M.L. and M.H. Lee. 1997. Amplification mitochondrial DNA identify four species of *Tetranychus* mites (Acarina: Tetranychidae) in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 36: 30-36.

- Makaji, T. 1987. Diagnosis of fruit tree diseases and pests with color plates. pp. 117-124. Agric. Publi. Inc. Tokyo.
- McCracken, A., I. Uhlenbusch and G. Gellissen. 1987. Structure of the cloned *Locusta migratoria* mitochondrial genome: restriction mapping and sequence of its ND-1 (URF-1) gene. *Curr. Genet.* 11: 625-630.
- Moritz, C., T.E. Dowling and W.M. Brown. 1987. Evolution of animal mitochondrial DNA: relevance for population biology and systematics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18: 269-292.
- Mun, J.H., J.S. Kim, Y.H. Song, T.H. Kim and G.K. Roderick. 2000. Molecular genetics diagnosis of four fruit fly species (Tephritidae). *J. Asia-Pacific Entomol.* 3: 89-94.
- Neale, D.B. and C.G. Williams. 1991. Restriction fragment length polymorphism mapping in conifers and applications to forest genetics and tree improvement. *Can. J. For. Res.* 21: 545-554.
- Park, K.T., K.Y. Choe, J.C. Paik and S.C. Han. 1977. Lepidopterous insect pest on apple tree. *Kor. J. Plant Prot.* 16: 33-39.
- Pedigo, L.P. 1991. *Entomology and pest management.* 646 pp. Macmillan Publishing Company, New York.
- Phillips, J.H.H. and J.R. Proctor. 1970. Development of methods for sampling the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), in an Ontario peach orchard. *Can Entomol.* 102: 454-471.
- 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.
- 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.C., C.V. Weakley and R.A. Jones. 1984. Using degree-day to determine optimum spray timing for the oriental fruit moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.* 77: 698-700.
- 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.
- Roehrich, R. 1961. Contribution a l'étude écologique des populations de la tordeuse de pêcher (*Grapholita molesta* Busk) dans la région Aquitaine. *Annales des Epiphyties.* p.114.
- 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.
- Salazar, M., C. Theoduloz, A. Vega, F. Poblete, E. González, R. Badilla and L. Meza-Basso. 2002. PCR-RFLP identification of endemic Chilean species of *Rhagoletis* (Diptera:

- Tephritidae) attacking Solanaceae. Bull. Entomol. Res. 92: 337–341.
- 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.
- Satta, Y., H. Ishiwa and S.I. Chigusa. 1987. Analysis of nucleotide substitutions of mitochondrial DNAs in *Drosophila melanogaster* and its sibling species. Mol. Biol. Evol. 4: 638–650.
- Scheffer, S.J., A. Wijesekara, D. Visser and R.H. Lallet. 2001. Polymerase chain reaction–restriction fragment length polymorphism method to distinguish *Liryomyza huidobrensis* from *L. langei* (Diptera: Agromyzidae) applied to three recent leafminer invasions. J. Econ. Entomol. 94: 1177–1182.
- Simon, C. 1991. Molecular systematics at the species boundary: exploiting conserved and variable regions of the mitochondrial genome of animal via direct sequencing from amplified DNA. pp. 33–71. In Molecular techniques in taxonomy, eds. by G.M. Hewitt, A.W.B. Johnston and J.P.W. Young. Springer, Berlin.
- Simon, C., F. Frati, A. Beckenbach, B. Crespi, H. Liu and P. Flook. 1994. Evolution, weighting, and phylogenetic utility of mitochondrial gene–sequences and a compilation of conserved polymerase chain–reaction primers. Ann. Entomol. Soc. Am. 87: 651–701.
- 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.
- Sperling, F.A.H. and D.A. Hickey. 1995. Amplified mitochondrial DNA as diagnostic marker for species of conifer–feeding *Choristoneura* (Lepidoptera: Tortricidae). Can. Entomol. 127: 277–288.
- Steinbrecht, R.A. 1987. Functional morphology of pheromone–sensitive sensilla. In : Preswich GD, Blomquist GJ (eds), Pheromone Biochemistry. Academic Press, Orlando, FL, pp 353–384.
- Steinbrecht, R.A. 1999. Olfactory receptors. In : Eguchi E, Tominaga Y (eds), Atlas of Arthropod Sensory Receptors. Springer, Tokyo, pp 155–176.
- Tanaka, F. and S. Yabuki. 1978. Forecasting oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck, emergence time on the pheromone trap method by the estimate of temperature. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 22: 162–168.
- Uhlenbusch, I., A. McCracken and G. Gellissen. 1987. The gene for the large (16S) ribosomal RNA from the *Locusta migratoria* mitochondrial genome. Curr. Genet. 11: 631–638.
- 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.
- Vlasak, I., S. Burgschwaiger and G. Kreil. 1987. Nucleotide sequence of the large ribosomal RNA of honeybee mitochondria. Nucleic Acids Res. 15: 2388.
- Wolstenholme, D.R. 1992. Animal mitochondrial DNA: structure and evolution. Int. Rev. Cytol. 141: 173–216.

- Wyman, J.A. 1979. Effect of trap design and sex attractant release on tomato pinworm catches. J. Econ. Entomol. 72: 865-868.
- 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-Pacific Entomol. 6: 97-104.

제 8 장 복숭아순나방 보도자료

<보도자료, 2007>

농업신문 - 5월 16일 ~ 5월 23일

복숭아순나방 피해 올해도 극성 우려

원예연, 성충 다발생 10~15일후 살충제 살포 당부

최근 2~3년간 계속된 복숭아순나방 피해가 올해도 재현될 공간이 커 농가에서의 철저한 관리가 요구된다.

농촌진흥청 원예연구소에 따르면 사과원에서 꽃이 떨어진후 복숭아순나방 발생이 크게 는 것으로 나타났다.

올해 사과원에서 꽃이 떨어지후 복숭아순나방 발생 척도가 되는 지난달 성페로몬트랩에 유살된 성충수가 트랩당 68마리로 지난해 49마리에 비해 크게 늘었기 때문이다.

원예연구소는 이에 따라 효율적 방제를 위해서는 지역 또는 조합 공동으로 발생예찰용 성페로몬트랩 5~10일마다 성충 발생 상황을 조사하고 성충 다발생 10~15일후에 적용 살충제 살포를 당부했다.

특히 4월하순부터 5월상순까지 제1세대 성충발생이 많고 지난해 수확기 과실 피해가 많았던 사과원의 경우 꽃이 떨어진후에 적용 살충제를 7일 간격으

로 2회정도 연속살포하고 열매속기 작업시에 피해 입은 새순 과실을 제거해 땅에 묻어줄 것을 강조했다.

이순원 농진청 원예연구소 사과시험장 박사는 "상습다발생 지역은 이달중 적용 살충제를 살포해 보완 방제가 필요하다"며 "사과원 주변에 방치된 복숭아, 자두 등 핵과류가 있으면 이들을 이달중 제거하거나 적용 살충제를 살포해 관리해야 한다"고 말했다.

#어떤 살충제가 있나

농약업계에 따르면 이와 관련된 살충제로는 경농의 '만장일치', 신젠타의 '주렁' '매치' '프로클레임', 동방아그로의 '바이킹', 동부하이텍의 '스튜어드 골드' '송팔매' 등이 시판되고 있다.

또한 성보화화의 '뚝심', 영일케미컬의 '후려니', 한국삼공의 '라이몬'도 복숭아순나방 방제용으로 판매되고 있다.

• 김선희 sunhee@afinews.co.kr

벼 줄무늬잎마름병

사과 복숭아순나방

방제 '주의'

농촌진흥청은 벼 줄무늬잎마름병과 사과 복숭아순나방 등의 방제에 각별히 신경써 달라고 당부했다.

줄무늬잎마름병은 애멸구가 옮기는 바이러스병으로 경기와 충남·전남북 등의 서해안 지방과 경남북의 내륙 일부 지방에서 병독을 지닌 애멸구의 비율이 예년보다 높은 것으로 조사됐다. 특히 병이 발생한 다음에는 치료가 되지 않기 때문에 애멸구를 물바구미 등 본논 초기에 문제되는 해충들과 함께 방제해야 한다.

모내는 날 상자에 입제농약을 살포하면 농약 투입량과 살포 노력을 줄일 수 있다. 카보입제의 경우 본논에는 10a(300평)당 4kg을 살포해야 하지만 상자처리를 하면 2.4kg이면 된다. 또 벼 뿌리 가까이에 약제 성분이 뿌려져 흡수가 잘되고 유실되는 양이 줄어 환경보전에도 도움이 된다. 약효가 긴 약제를 선택하면 본답 초기의 병해충을 예방해 7월 하순~8월 상순에 약제를 한번만 살포하는 것으로 방제를 끝낼 수 있다. 상자처리를 하지 못했을 때는 모낸 다음 10~15일 사이에 적용농약을 살포해야 한다.

최근 몇년 사이 크게 문제되고 있는 사과원의 복숭아순나방은 올해도 예년보다 훨씬 많은 양이 발생한 것으로 나타났다. 특히 교미교란제를 설치한 사과원의 먹이트랩에서도 복숭아순나방 큰 벌레가 많이 잡혀 안심할 수 없었다. 효율적 방제를 위해서는 마을 또는 작목반 단위로 예찰용 성페로몬트랩을 설치해 5~10일 간격으로 발생 상황을 조사하고, 큰벌레가 많이 발생한 다음 10~15일에 적용 살충제로 공동방제해야 한다. 상습 발생지는 7일 간격으로 두번 연속 살포한다.

또 주변에 방치된 복숭아와 자두 등 핵과류 나무는 주요 발생원이 되므로 제거하거나 살충제를 살포해 관리하는 것이 좋다. 농진청 ☎031-299-2372, 원예연구소 사과시험장 ☎054-380-3171.

윤덕한 기자 dkny@nongmin.com

복숭아순나방 방제 필요

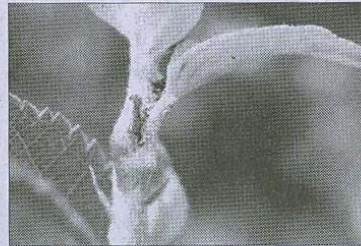
원예연구소 “발생량 많아...살충제 살포” 당부

농촌진흥청 원예연구소는 올해 사과원에서 꽃이 떨어진 후 복숭아순나방이 많이 발생했으며, 피해가 발생할 경우 지역(단체)별 공동으로 적용 살충제를 살포하고, 발생원이 되는 주변에 방치된 핵과류(복숭아, 자두)는 제거하거나 살충제를 살포해 관리해 줄 것을 당부했다.

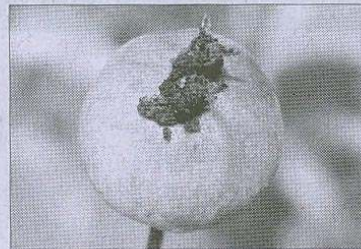
원예연구소에 따르면 복숭아순나방의 피해는 평년보다 많이 나타난 것으로 조사되었는데 자주 발생하는 사과원에서는 과실 피해가 10% 이상 높으며, 효율적 방제를 위해서는 지역 또는 조합(작목반) 공동으로 발생예찰용 성페로몬드랩을 설치하여 5~10일마다 성충 발생 상황을 조사하고, 성충 다발생 10~15일 후에 적용 살충제를 살포해야 한다.

특히 제1세대(4월 하순~5월상순) 성충발생이 많고 작년도 수확기 과실 피해가 많았던 사과원의 경우 꽃이 떨어진 후에 적용 살충제를 7일 간격으로 2회정도 연속 살포하고, 열매속기 작업시에 피해들입은 새순 과실을 제거하여 땅에 묻어주어야 한다.

사과시험장 이순원 박사는 지난해 교미교란



복숭아순나방 피해 신초.



복숭아순나방 피해과실.

제를 설치했을 때도 과실피해가 컸으며, 상습 다발생 지역은 5월중에 적용 살충제를 살포하여 보완 방제가 필요하며, 사과원 주변에 방치된 핵과류(복숭아, 자두 등)가 있으면 이들을 5월 중에 제거하거나 적용 살충제를 살포해 관리할 것을 당부했다.

주 의

1. 이 보고서는 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림수산식품부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.