

(옆면)

(앞면)

316015  
-04

과  
제  
명

금지급  
검역  
해충  
과실  
파리류  
침입  
대비  
국가  
위기  
대응  
시스템  
개발

최  
종  
보  
고  
서

(건고덕  
14p)

2020  
(건고덕13p)

농  
림  
축  
산  
식품  
부

농  
림  
식품  
기술  
기획  
평가  
원

(건고덕  
17p)

## 수출전략기술개발사업 최종 보고서

발간등록번호  
11-1543000-003154-01

# 금지급 검역해충 과실파리류 침입대비 국가위기대응 시스템개발 최종보고서

(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)

2020. 7. 6.

(건고덕15p)

주관연구기관 / 안동대학교

협동연구기관 / 연세대학교, 제주대학교

(건고덕 15.5p)

농림축산식품부

(전문기관) 농림식품기술기획평가원

(건고덕 20p)

※ 최종보고서 표지 작성시 과제명이 길 경우 글씨 크기 변경 가능

## 제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

‘고위해성 과실파리 침입에 대한 국가 위기 대응 시스템 개발’ (연구개발 기간 : 2016. 5. ~ 2019. 12.) 과제의 최종보고서 1부를 제출합니다.

2020. 7. 6.

주관연구기관명 : 안동대학교 산학협력단 (대표자) 이혁재 (인)  
협동연구기관명 : 연세대학교 산학협력단 (대표자) 김택중 (인)  
협력연구기관명 : 제주대학교 산학협력단 (대표자) 도양희 (인)

주관연구기관책임자: 김용균  
협동연구기관책임자: 한호연  
협력연구기관책임자: 김동순

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

<보고서 요약서>

보고서 요약서

과제고유번호	316015-04	해 당 단 계 연 구 기 간	44개월	단 계 구 분	4/4
연구사업명	단 위 사 업	농식품기술개발사업			
	사 업 명	수출전략기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명	금지급 검역해충 과실파리류 침입 대비 국가 위기 대응 시스템 개발			
	세부 과제명	고위해성 과실파리 침입에 대한 국가 위기 대응 시스템 개발			
연구책임자	김용균	해당단계 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 천원 민간: 천원 계: 천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 24 명 내부: 12 명 외부: 12 명	총 연구개발 비	정부: 1,470,000천원 민간: 0천원 계: 1,470,000천원
연구기관명 및 소속부서명	안동대학교 식물학과			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
연구개발성과의	일반				

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

보안등급 및 사유

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설· 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정 보	생물자 원	정보	실물
등록·기탁 번호	19	5	✓					✓			

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장 비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

금지급 과실파리는 검역 대상으로 국내 유입되면 국내 농산물 피해는 물론이고 국내 농산물 수출에 걸림돌이 된다. 본 연구를 통해 총 69종의 금지급 과실파리를 선정하였고, 이들의 도해집을 만들었다. 각 금지급 과실파리에 대한 모니터링, 진단, 예찰 및 방제에 대한 기술을 정리하였다. 아울러, 국내에 침입을 대비하여 모니터링 장비 및 방제 기술을 개발하였다. 진단기술로서 형태적 진단법이 간략한 분류기로 제작되었다. 또한 DNA barcode를 바탕으로 주요 금지급 과실파리의 간단한 PCR 진단 기술을 개발하여 국경검역의 현장에서 유충 표본에 대한 신속 진단이 가능하게 하였다. 모니터링 기술은 유인제에 의존하며, 이를 기반으로 상시모니터링 시스템과 긴급모니터링 시스템으로 나누어 진행된다. 초기 발견시 유입 원점을 찾기 위한 격자형 모니터링이 실시된다. 이때 트랩용 수컷유살제 기술이 도입되어 박멸도 병행된다. 중심에는 암컷유살제를 넣어 암컷의 유무를 확인하고 유살시키게 된다. 일반 발생으로 넘어가는 시점에서 암컷유살제 및 유입 원점을 중심으로 번데기 방제가 실시된다. 또한 기주제거 작업이 실시된다. 대대적인 수컷유살제 처리도 병행된다. 확대 범위를 살펴 불임충방사도 고려한다. 끝으로 예찰 정보에 기초하여 박멸선언을 준비한다.

보고서 면수

674쪽

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고위해성 과실파리 위기관리 매뉴얼 구축               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 금지급 과실파리 42종의 위해성 분석 및 재등급화</li> <li>- 고위해성 과실파리의 신속 진단 기술 개발</li> <li>- 고위해성 과실파리의 종합관리 기술</li> </ul> </li> </ul>				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 침입 과실파리 모니터링 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과실파리 유인제 제형 개발과 상시 모니터링 기술 개발</li> <li>- 고위해성 과실파리 침입 대응 긴급 모니터링 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 고위해성 과실파리 동정 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 금지급 과실파리 위해성 분석 및 재등급화</li> <li>- 간이 형태 동정 분류기 개발</li> <li>- DNA 바코드 진단 프로토콜 개발</li> </ul> </li> <li>○ 고위해성 과실파리 발생예측 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 온도 발육 모델 개발</li> <li>- 엑셀을 이용한 발생 세대 추정 계산법 개발</li> </ul> </li> <li>○ 금지급 과실파리 완전 박멸 방제 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과실파리 불임충방사 기술 개발</li> <li>- 고효율 유인제를 이용한 과실파리 수컷사멸기술 개발</li> <li>- 고효율 유인제를 이용한 과실파리 암컷사멸기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 정량성과               <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 - 등록 1건, 출원 4건</li> <li>SCI급 9편, KCI급 10편, 학술발표 38건, 인력양성 19건</li> <li>금지급 과실파리 관리를 위한 정책제안 12건, 교육 지도 2건</li> <li>위기대응 매뉴얼 책자 3 편 출판</li> <li>기술이전 2건, 기술료 2건, 제품화 1건</li> </ul> </li> </ul>				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개발된 위기관리 매뉴얼을 이용한 검역 현장에 적용 및 실행</li> <li>○ 침입한 과실파리의 한국형 박멸프로그램 가동을 통해 국내 농산물 보호</li> </ul>				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	과실파리	검역	모니터링	박멸	매뉴얼
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	Fruit fly	Quarantine	Monitoring	Eradication	Manual

\* 국문으로 작성(영문 핵심어 제외)

## 〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요 .....	1
2. 연구수행 내용 및 결과 .....	6
제1장 금지 및 관리급 과실파리 목록수정 .....	6
제2장 위해성 과실파리 도해집 제작 .....	13
제3장 위해성 과실파리 DNA 바코드 진단 프로토콜 .....	166
제4장 위해성 과실파리 분류학적 기반 연구 .....	171
제5장 오리엔탈과실파리 생태분석 및 개체군 정착능력 평가 .....	181
제6장 금지급 과실파리 종별 예찰 매뉴얼 .....	278
제7장 금지급 과실파리 그룹별 예찰 매뉴얼 .....	402
제8장 오리엔탈과실파리 모니터링 기술 .....	459
제1절 간이분자진단기술 .....	459
제2절 대만 현지 모니터링 기술 .....	463
제3절 태국 현지 모니터링 기술 .....	467
제4절 방글라데시 현지 모니터링 기술 .....	474
제5절 오리엔탈과실파리 국내 월동 가능 기작 .....	479
제9장 유인제 왁스형 제형 개발 및 수컷유살제 개발 .....	483
제10장 과실파리 암컷유살제 개발 .....	492
제11장 과실파리 박멸을 위한 불임충 방사 기술 개발 .....	501
제1절 과실파리 성전환 기술 .....	501
제2절 불임충 제조 및 방사기술 .....	504
제12장 과실파리 번데기 방제 기술 .....	521
제13장 과실파리 대량사육 기술 개발 .....	523
제14장 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 냄새감각기 .....	542
제15장 Parapheromone과 호박과실파리류 .....	568
제16장 호박과실파리 안테나 및 작은턱수염에 대한 냄새활성물질 탐색 ..	581
제17장 호박꽃과실파리 안테나 및 작은턱수염에 대한 냄새활성물질 탐색	601
제18장 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 유인물질활성 검정 .....	605
제19장 검역대상 과실파리의 유인제를 사용한 모니터링 .....	627
제20장 검역대상 과실파리의 유인제 개발 위한 매뉴얼 .....	639
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 .....	649
4. 연구결과의 활용 계획 등 .....	650
붙임. 참고 문헌 .....	652

# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개발 목적

과실파리의 “초기발견(탐지), 긴급방제, 예찰 및 역학조사, 종합방제” 체계 구축을 위해 금지급 과실파리(40 종 이상)의 생리생태학적 특성과 국내 기후 등의 환경변화에 따른 유입 가능성 예측을 통한 위험도 서열화 및 국경진단 프로토콜 개발을 담은 **고위험성 과실파리 위기관리 매뉴얼** 구축

1. 금지 및 관리급 과실파리의 국내 유입가능성 예측을 통한 위험도 서열화
  - 1.1. 금지급 과실파리 42 종 및 관리급 과실파리 4 종의 위험도 재분류
  - 1.2. 기후변화 및 교역량 증가에 따른 과실파리 유입, 정착 및 확산 가능성 및 피해경제성 분석을 통해 금지 및 관리급 과실파리의 4 단계(I-IV) 위험도 서열화
2. 금지 및 관리급 과실파리의 국경 진단 프로토콜 개발
  - 2.1. 위험도 서열화에 따른 과실파리류의 대조/영구표본 제작, 도해집 발간 및 DNA 바코드 분자진단법 개발
3. 위험도 서열화로 결정된 상위 10종 금지급 과실파리에 대한 위기대응매뉴얼 제작
  - 3.1. 침입 초기 조기발견을 위한 상시 모니터링과 긴급 모니터링 매뉴얼 개발
  - 3.2. 긴급 방제 지역 설정 및 완전박멸 기술 투입에 대한 조기방제 기술 매뉴얼 개발
    - 3.2.1. 긴급 방제 반경에 대한 과학적 근거(이동 거리, 주요 기주, 번식특성) 제공
    - 3.2.2. 완전박멸을 위한 방제 기술(MAT, SIT 및 기타 종합방제기술)의 투입 기술

## 나. 연구개발의 필요성

### (1) 과실파리 해충 다양성

과실파리과(Family Tephritidae)는 범세계적으로 약 500 속 4,500 종 이상이 기록되어 있는 방대한 분류군이다. 일반적으로 이들은 성충시기에 몸체와 날개에 다양한 무늬를 지니며, 암수 이형, 수렴진화, 의태 등의 다양한 진화양상을 보이는 흥미롭고 아름다운 파리들이다. 그러나 농업해충학적인 측면에서 볼 때는 파리목 중에서 가장 악명 높은 과로 알려져 있다. 현재 약 250 종 이상의 과실파리가 유실수 등의 작물을 공격하는 해충으로 알려져 있으며 많은 종들이 동남아시아와 중남미 등 열대 및 아열대 지방에서 다양한 작물에 극심한 피해를 주고 있다. 따라서 국제적인 교역증대에 따른 검역해충으로서의 과실파리과 곤충에 대한 관심이 급증하고 있는 실정이다. 한국에서도 이 지역들과의 교역증대 및 범세계적인 기후변화에 따른 위해성 과실파리 서식범위의 북상으로 인해 과실파리과에 대한 지식이 시급히 요구된다.

현재 검역본부에서 규정한 60 종의 금지해충 중에서 42 종이 과실파리과에 속하는 분류군들이다. 반면 관리해충으로 규정되어 있는 1,492 종 중에는 단 4 종의 과실파리만이 포함되어

있다. 즉 검역해충으로 부각된 대부분의 과실파리과 곤충이 금지해충으로 규정되어있는 셈이며, 이는 과실파리과의 검역상 중대성을 적나라하게 시사해주는 통계라고 할 수 있다.

최근 과실파리과 해충의 분류 및 생태, 또는 해충학적 측면의 연구가 범세계적으로 활발하게 진행되고 있으며, 과실파리과의 분류체계, 종의 범위, 해충성에 대한 해석이 역동적으로 변화하고 있는 상황이다. 따라서 검역본부 금지해충 목록에 대한 재검토가 필요하다. 또한 이들을 적절히 동정할 수 있는 도해집과 DNA 바코드 프로토콜도 시급히 필요한 상황이다. 결국 검역상 발생할 수 있는 종 문제에 신속·정확하게 대처하는 동시에 원활히 국제적인 협력을 구하기 위해서는 국내에서도 과실파리 해충분류군들에 대한 높은 수준의 분류학적 연구기반이 확립되어야 한다.

## (2) 과실파리 위험성 및 방제 필요성

지구온난화로 아열대성 해충의 국내침입 및 정착 가능성이 증가하고 있다. 이러한 침입과 정착에 대한 주요 사례로 아열대성 남방계 나비 7종이 백령도 및 대청도에서 발견되고, 설악산에 아열대성 다세대 나비종의 출현 빈도수가 증가하며 1983년 이후 동남아시아산 대벌레가 내륙산간지역에 확산하고 있으며 2005년부터 충북 영동에 갈색여치가 산간지에서 대발생을 하고 중국남부와 동남아 원산인 꽃매미가 대발생하는 등을 들 수 있다.

과실파리과에 속한 여러 종들은 다양한 과일과 채소를 가해하는 해충군으로 전 세계적으로 방제의 표적이 되는 주요 분류군 가운데 하나이다(White and Elson-Harris, 1992). 이들의 피해가 양과 질적인 면에서 모두 막대하기에 과실을 생산하는 나라들은 특정 과실파리류가 발생하는 수출국들로부터 수입하는 물품에 대해서 완전방역처리를 요구하고 있다(Vargas et al., 2008a). 따라서 과실파리류 방제 개념은 밀도억제 뿐만 아니라 완전박멸을 포함하는 방제 전략을 세우게 된다. 과실파리과에 속한 분류군 가운데 특히 4 개 속(*Ceratitis*, *Anastrepha*, *Rhagoletis*, *Bactrocera*)의 과실파리가 농업적으로 중요한 해충군으로 분류된다.

과실파리류는 아열대성 해충으로 우리나라 생육기 기후조건에는 언제든지 정착할 수 있으며 온난화로 월동이 가능한 경우 영구히 국내에 정착할 가능성이 있다. 과실파리류 국내침입 정착시 경제적 피해 규모가 방대하여 막대한 손실이 예상됨으로 선제적 대응방안 마련이 필요하다. 외국의 사례를 보면 퀴즐랜드과실파리의 경우 지구온난화로 0.5°C, 1.0°C, 2.0°C 증가하는 경우 방제비용은 각각 3.1, 4.7, 12.0 백만불(호주달러)씩 증가할 것으로 예상되고 있다(Sutherst et al., 2002). 일본 오키나와에서는 오이과실파리 박멸을 위하여 총 1,950억원이 투입된 바 있다(1972 ~ 1993년) (Ito et al., 2003). 이 외에 외국의 과실파리 피해 및 방제 비용을 살펴보면 다음과 같다.

- 퀴즐랜드과실파리는 방제가 소홀한 경우 피해액은 년 1억불(호주 달러)의 손실이 나타날 수 있는 것으로 추정되었음(Anonymous, 1986)
- 오리엔탈과실파리 피해 유발 경제적 비용
  - 오리엔탈과실파리 박멸 비용은 Mauritius에서 1백만 불(미국 달러)(Seewooruthun et al., 2000)이 소요되었고, 일본 Ryukyu 섬에서는 200 백만 유로(Kiritani, 1998)가 필요하였음
  - 미국 캘리포니아에서 박멸하지 않는 경우 연 피해규모는 방제비용을 포함하여 44에서 176 백만 불(미국 달러)로 추정되었음
  - 호주에서는 방제비용이 ha 당 200 and 900 불(호주 달러) 추가되는 것으로 보고됨(Anonymous, 1991)
  - 하와이에서는 주요 작물의 피해손실이 13% 이상이거나 3 백만 불(미국 달러) 이상의 피해



- 를 유발하고 있는 것으로 알려져 있음(Culliney, 2002)
- 지중해과실파리는 지중해 국가에서는 특히 감귤과 복숭아에 피해를 입히는데, 과실에 썩음 병을 전파하기 때문에 더 중요함(Cayol et al., 1994)
  - 과실의 피해도는 매우 높고 100% 피해에 도달할 수 있음(Fimiani, 1989; Fischer-Colbrie and Busch-Petersen, 1989)
  - 중앙아메리카에서는 커피 작물에 피해는 5 ~ 15% 되는 것으로 추정하고 있으며, 딸기류는 성숙 전 낙과되므로 피해가 매우 큼(Enkerlin et al., 1989)
- 동부양벚과실파리는 체리의 심각한 해충으로 독일의 경우 모든 체리 재배지역에서 발생되고, 특히 야생기주에서 다발생하여 피해를 주는데 피해수준은 신맛 체리에서 20에서 30%에 달함(Vogt, 2007; Vogt et al., 2007, 2010)
- 오이과실파리는 하와이 침입 지역에서 무방제시 피해율이 100%에 달한 경우도 있으며, 일본 Ryukyu 섬에서 박멸을 위하여 200 백만 유로의 비용이 투입된 것으로 알려져 있음(Kiritani, 1998)

국내 침입이 우려되는 금지급 과실파리는 오리엔탈과실파리, 서부양벚과실파리, 오이과실파리, 지중해과실파리, 퀸즐랜드과실파리 등 5 종이나, 이들 과실파리의 종 복합성 및 기후변화에 따라 금지급 과실파리의 재정비가 필요하다. 이들 금지급 과실파리에 대해서는 기존 예찰 프로그램을 더욱 개선 강화하고 초기 박멸 프로그램을 수립하여 향후 생물안보에 대비해야 해야 한다.

### (3) 과실파리 유인제 개발과 이를 이용한 유살제 개발 필요성

과실파리의 유인제는 이들의 방제 및 검역대응에 효율적으로 사용될 수 있다. *Bactrocera* 속 과실파리류에서는 특히 두 종, Oriental fruit fly (*B. dorsalis*) 와 olive fly (*B. oleae*), 에서 유인제에 대한 연구가 잘 되어 있으며, 이들은 강력한 수컷유인제(male attractant)와 함께 sex pheromone 및 host-based attractant 등이 이들 과실파리의 생활에 사용되고 있는 것으로 알려져 있다 (Shelly et al. 2004; Shelly and Edu 2010). 이 중에서 두 가지 수컷유인제인 ME (methyl eugenol) 과 CL (cue lure)는 여러 종의 *Bactrocera* 속 과실파리 수컷에 대해 어느 정도의 종특이성을 갖는 강력한 유인력을 발휘하여, 이들이 여러 나라에서 중요한 과실파리류의 모니터링, 방제 및 박멸에 효율적으로 사용되어오고 있다 (Broumas et al. 2002; Speranza et al. 2004; Gil-Ortiz 2012). 수컷유인제 외에도 단백질발효산물 등 기주와 관련이 있는 유인제들이 살충제와 조합으로 lure and kill 용도로 개발되어 과실파리들의 검역 및 해충방제 현장에서 사용되어오고 있다(Siderhurst and Jang 2006; Kumaran et al. 2013; Malheiro et al. 2016). 또한, *Bactrocera* 속 과실파리류에서 sex pheromone 이 존재한다는 것도 몇 종에서 밝혀져 있다(Wee and Tan 2005; Carpita et al. 2012; Canale et al. 2015). 따라서, 유인제는 우리나라에서도 *Bactrocera* 속 과실파리류에 대한 검역과 해충방제에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

호박과실파리(*B. depressa*) 는 우리나라에서 호박 등 박과식물의 주요 해충이다. 독성살충제 적용이 용이하지 않은 이 해충의 방제에 유인제 등 semiochemical 이 효율적으로 사용될 수 있을 것이다. *Bactrocera* 의 다른 종에서처럼 호박과실파리의 유인제는 모니터링과 직접방제에 사용될 수 있을 것이다. 하지만, 아직 호박과실파리에 높은 활성을 나타내는 효율적인 유인제는 개발되어있지 않은 실정이다. *Bactrocera* 의 다른 종에서 알려진 것처럼, 호박과실파리도 수컷이 lek behavior 를 보일 것으로 생각되며, 이에 관련한 수컷유인제도 존재할 것으로

사료된다. 또한, 비록 다양한 기주를 갖고 있지만 호박과실파리는 박과류 식물에 강한 산란선호성을 나타내며 (Seo et al. 2008), 따라서 다른 *Bactrocera* 속 과실파리류에서 기주식물 유래 유인제가 존재하는 것이 알려진 것처럼 호박과실파리도 기주식물에서 발산되는 냄새물질들이 기주탐색 및 비기주식물과의 식별에 사용될 것으로 보인다. 또한, 다른 *Bactrocera* 종들에서 sex pheromone 의 존재가 알려져 있고 호박과실파리 수컷이 교미시 암컷을 향한 wing vibration 을 하는 것(Kim and Jeon 2008)을 감안한다면, 호박과실파리도 sex pheromone 을 사용할 가능성이 농후하다. 그러므로, 호박과실파리에 대해 강한 유인력을 나타내는 유인제를 개발할 가능성은 크다고 볼 수 있다.

호박과실파리에 대한 효율적인 유인제를 개발한다면 이는 다른 주요검역대상 과실파리들의 우리나라 환경에 맞는 효율적인 유인제의 개발에도 활용할 수 있을 것이다. 우리나라에 아직 존재하지 않거나 극소수만 존재하는 검역해충에 대한 연구 진행은 실험곤충 확보 및 유인제 개발에 필수적인 야외에서의 생물검정이 어렵게 때문에 그 진행이 용이하지 않다. 따라서, 이러한 연구를 신속히 효율적으로 수행하기 위한 시스템을 갖추고 경험을 쌓는 것이 필요하며, 본 연구를 통해 호박과실파리의 유인제를 개발한다면 차후 예상되는 다른 *Bactrocera* 속 검역해충이 유입될 경우 신속히 이들에 대한 유인제를 개발할 수 있는 발판이 되어 이들에 대한 강력한 검역시스템을 마련하는데 큰 도움이 될 것이다.

유인제는 검역해충의 국경에서의 탐지와 침입후 박멸프로그램의 가동에서 필수적인 수단이다. 하지만 수 십 종의 고위해성 검역해충 과실파리류 중에서 두, 세 종 밖에는 효율적인 유인제가 개발되어 않은 상태이며, 우리나라에는 아직 과실파리류에 대한 유인제 개발 체계가 확립되어 있지 않은 상태이다. 향만 등 검역해충이 유입될 수 있는 주요지점에서의 검역해충의 효율적인 탐지는 아주 중요하며, 우리나라 환경에 맞는 효율적인 유인제가 개발된다면 이는 Oriental fruit fly 나 Queensland fruit fly 등 우리나라에 유입되어 정착될 가능성이 큰 *Bactrocera* 속 검역해충들의 유입 방지에 큰 도움이 될 것이며, 혹 유입이 되더라도 이들이 확산, 정착되기 전에 박멸하기 위한 전략수립에 큰 도움이 될 것이다.

## 다. 연구개발 범위

### (1) 과실파리 동정 기술

- 금지급 1~3단계, 관리급 4단계 재분류
- 40여종 과실파리 분류 및 진단 도해집 제작 및 대조표본 확보
- BOLD Systems 금지 및 관리급 과실파리 검토 및 바코드 작업
- 종 및 상위분류 수준 연구 및 국제협력 실시

### (2) 과실파리 위해성 분석 기술 개발

- 고위해성 과실파리의 기주식물, 이동거리 등 생태자료 수집 및 예비방제조치 반영 시뮬레이션 모형 작성
- 박멸조치 평가에 필요한 기존 개체군 모형 매개변수 수집 및 예비 시뮬레이션 표출형태 구성
- 생태정보 융합 기술수립을 위한 모의지점의 생태정보 수집: 기주식물 분포, 지형특성,

구조물 배치 등

(3) 과실파리 유인 및 유살을 위한 고효율 유인제 개발

- antennal sensilla 동정: 전자현미경 관찰로 호박과실파리 촉각감각기들 동정
- sample collection: 기주식물 및 호박과실파리로부터 발산되는 냄새물질 포집
- field trapping: 야외 트랩시스템을 구축하고 다른 과실파리류에 보고된 유인물질의 유인력 시험
- GC-EAD: GC-EAD 시스템을 이용한 냄새활성물질의 동정

(4) 과실파리 완전박멸기술

- MAT 기술 개발 기반 구축: 호박꽃과실파리에 유살력 구현
- SIT 기술 개발 기반 구축: X선과 화학불임제의 유효 흡수선량 결정 및 불임화 생물검정 구현

(5) 과실파리 위기 관리 매뉴얼 개발

- 금지급 검역 과실파리의 분류·생태·생리·방제 연구결과를 현장에 적용하기 위한, 검역적으로 가장 중요한 과실파리 침입 위기대응매뉴얼 구축
- 금지급 검역 과실파리 42종의 정확하고 신속한 진단을 위한 동정집 제작
- 금지급 검역 과실파리 42종의 진단 및 생물적 특성 정보, DB업데이트 및 병해충정보 시스템 제작

## 2. 연구수행 내용 및 결과

### 가. 연구내용 및 연구결과

본 과제는 총 3개의 세부과제가 진행되었다. 이는 분류, 생태 및 방제로 나뉘어 진행되었다. 전체적 연구 결과를 3개 세부연구 보고서로 나누어 보고한다.

[제1세부 보고서] - 분류분야

## 제1장 금지 및 관리급 과실파리 목록 수정

### 1. 연구요약

농림축산검역본부(www.qia.go.kr)에서는 현재 61 종의 금지해충을 규정하여 주요 검역대상으로 삼고 있으며, 놀랍게도 이들 중 7할인 43 종(동물이명으로 확인된 1 종 제외)이 과실파리과에 속하는 종들이다. 즉 한국의 검역해충 중에서도 과실파리과가 가장 중요한 분류군이라고 할 수 있다. 반면 관리해충으로 규정되어 있는 1,492 종 가운데 단 6종의 과실파리만이 포함되어 있다. 즉 검역해충으로 부각된 대부분의 과실파리과 곤충들이 금지해충으로 규정되어있다. 현재의 한국의 금지해충 43 종 가운데 *Bactrocera* 속이 19종, *Zeugodacus*속이 3종, *Ceratitis* 속이 3 종, *Anastrepha* 속이 9 종, *Rhagoletis* 속이 7 종을 포함되어 있다. 이 외에 *Carpomya* 및 *Zonosemata* 속이 각각 1 종씩이 금지해충이다. 관리해충은 *Acanthiophilus*, *Bactrocera*, *Euleia*, *Euphranta*, *Plioreocepta*, *Trupanea* 속의 각 1 종씩이다.

농림축산검역본부(www.qia.go.kr)에서는 현재 61 종의 금지해충을 규정하여 주요 검역대상으로 삼고 있으며, 놀랍게도 이들 중 7할인 43 종(동물이명으로 확인된 1 종 제외)이 과실파리과에 속하는 종들이다. 즉 한국의 검역해충 중에서도 과실파리과가 가장 중요한 분류군이라고 할 수 있다. 반면 관리해충으로 규정되어 있는 1,492 종 가운데 단 6종의 과실파리만이 포함되어 있다. 즉 검역해충으로 부각된 대부분의 과실파리과 곤충들이 금지해충으로 규정되어있다. 현재의 한국의 금지해충 43 종 가운데 *Bactrocera* 속이 19종, *Zeugodacus*속이 3종, *Ceratitis* 속이 3 종, *Anastrepha* 속이 9 종, *Rhagoletis* 속이 7 종을 포함되어 있다. 이 외에 *Carpomya* 및 *Zonosemata* 속이 각각 1 종씩이 금지해충이다. 관리해충은 *Acanthiophilus*, *Bactrocera*, *Euleia*, *Euphranta*, *Plioreocepta*, *Trupanea* 속의 각 1 종씩이다.

### 2. 재료 및 방법

검역상 중요한 한국의 금지 및 관리해충 목록을 최근의 새로운 문헌정보에 입각하여 재구성하였다. 이 작업은 주로 과실파리 해충의 분류 및 생태 관련 종합적인 정보를 포함하는 단행본, 논문, 소프트웨어, 온라인 데이터베이스 등 가장 중요한 자료들을 선별하여 위해성을 검토하였으며, 특히 등급 판단기준에 관련해서는 Vargas et al. (2015)을 많이 참조하였으며, 기주식물의 범위 및 경제성, 과실파리의 분포 및 이동성, 도입 적응성 등을 고려하였다. 정해진 기준에 따른 등급분류 및 순위를 설정하였는데, 등급은 위험도에 따라 금지과실파리는 I 등급에서 III등급까지 분류하는 동시에, 각 종별 개별순위도 부여하였다. 관리급 과실파리는 모두 IV등급으로 하였으며, 순위의 의미가 거의 없는 관계로 부여하지 않았다. 현재 각 종별로 문헌상으로 획득할 수 있는 관련정보의 양과 질에 큰 차이가 있는 관계로, 측정 자체가 불가능한 정량적인 기준보다는 다음과 같은 정성적인 기준에 입각하여 등급분류를 실시하였다.

- 제I등급(금지급): 광범위하게 분포하며 침투성이 큰 다식성 해충, 또는 원 서식범위를 넘어서 이주하여 큰 피해를 주고 있는 협식성 및 단식성 해충. 한국에서 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며, 월동 가능성이 높은 종들.
- 제II등급(금지급): 분포범위가 상대적으로 제한되어 있는 다식성, 협식성, 단식성 해충으로서, 다른 지역으로 이주할 위험성이 커지고 있는 종들. 한국에 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며 월동가능성이 있는 종들.
- 제III등급(금지급): 상대적으로 해충성이 적은 협식성 및 단식성 과실파리 해충. 한국에 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며 월동가능성이 있는 종들.
- 제IV등급(관리급): 재배식물에 간혹 발생하는 과실파리로서, 한국에 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며 월동가능성이 있는 종들.

### 3. 결과

위 기준에 따라 과실파리과 주요 해충들을 상세히 검토하여, 한국에 적용할 수 있는 금지급 및 관리급 과실파리 목록안을 완성하였다. 현재 규정되어 있는 금지 및 관리급 과실파리는 각각 43 종 및 6 종이었으나, 이번에 새롭게 제시된 안에는 금지급이 60 종이며 관리급이 9 종이다. 결과적으로 금지급은 17 종, 관리급은 3 종이 각각 증가하였으며, 내용면에서도 많은 변화가 있었다. 본 초안에서 제시된 60 종의 금지급 과실파리 중에는 37 종이 과거에도 금지급이었고, 2 종이 관리급이었으며, 21 종이 새롭게 금지급으로 제시되었다. 또한 9 종의 관리급 과실파리 중에는 2 종만이 과거의 관리급이었고, 1 종은 금지급에서 관리급으로 격하되었고, 나머지 6 종은 새롭게 관리급으로 제안되었다. 따라서 과거에 금지급이었던 5종과 관리급이었던 2 종은 목록에서 제거하였으며 그 근거를 다음 표에 제시하였다.

붙임 1. 금지급(I-III 등급) 및 관리급(IV 등급) 과실파리 목록 최종안.

- 제I등급(금지급): 광범위하게 분포하며 침투성이 큰 다식성 해충, 또는 원 서식범위를 넘어서 이주하여 큰 피해를 주고 있는 협식성 및 단식성 해충. 한국에서 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며, 월동 가능성이 높은 종들.
- 제II등급(금지급): 분포범위가 상대적으로 제한되어 있는 다식성, 협식성, 단식성 해충으로서, 다른 지역으로 이주할 위험성이 커지고 있는 종들. 한국에 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며 월동가능성이 있는 종들.
- 제III등급(금지급): 상대적으로 해충성이 적은 협식성 및 단식성 과실파리 해충. 한국에 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며 월동가능성이 있는 종들.
- 제IV등급(관리급): 재배식물에 간혹 발생하는 과실파리로서, 한국에 숙주식물이 노지에서 재배되거나 자생하며 월동가능성이 있는 종들.

등급	순위	종 명	기준등급	등급분류 근거
금지 I	1	<i>Bactrocera dorsalis</i> (Hendel, 1912) 오리엔탈과실파리	금지	많은 국내 재배작물을 포함하는 다양한 식물종들을 가해하며, 분포범위가 동남아시아 전역에서 아프리카까지로 매우 넓은 대표적인 검역해충이다. 많은 지역에 도입된 사례들이 있으며, 한국에서도 예찰활동을 통하여 자주 확인되는 종이다. 다행히 아직 정착된 개체군은 없는 것으로 사료된다. <i>Bactrocera dorsalis</i> 는 변이가 매우 심해서 과거에는 <i>B. papayae</i> , <i>B. philippinensis</i> , <i>B. invadens</i> 로 구분되기도 했으나, 현재는 이들이 독립된 종이 아니라 오리엔탈과실파리의 지역적인 변이체들로 간주되고 있다(Schutze et al., 2015).
금지 I	2	<i>Ceratitis capitata</i> (Wiedemann, 1824) 지중해과실파리	금지	북아프리카 원산이나 전 세계 많은 지역에 도입이 된 바 있는 매우 중요한 검역해충이다. 국내 작물로는 귤, 고추, 사과, 다양한 핵과류 등을 가해할 수 있다.
금지 I	3	<i>Bactrocera tryoni</i> (Froggatt, 1897) 퀸즐랜드과실파리	금지	많은 국내 작물을 포함하는 다양한 식물종을 가해하는 다식성 해충이다. 원서식지인 호주에서 다양한 지역으로 도입된 기록이 있는 위험한 검역해충이다
금지 I	4	<i>Bactrocera carambolae</i> Drew & Hancock, 1994 카람볼라과실파리	금지	악명 높은 <i>B. dorsalis</i> 와 구분하기 매우 힘들며 동남아시아에서 분포범위가 중첩된다. 브라질 등 남미에 도입된 바 있으며 카람볼라, 귤류, 대추 등 다양한 열대작물을 가해하는 다식성 해충이다.
금지 I	5	<i>Bactrocera zonata</i> (Saunders, 1842) 복숭아과실파리	금지	인도에서 베트남까지 광범위하게 분포하며, 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충이다. 지역에 따라서는 오리엔탈과실파리보다 해충성이 큰 곳도 있다. 국내 작물로는 귤류와 복숭아 등이 위험하며, 사과, 토마토, 가지, 감자도 가해한 외국의 사례가 있다.
금지 I	6	<i>Bactrocera correcta</i> (Bezzi, 1916) 구아바과실파리	금지	인도에서 중국 남서부까지 널리 분포하며, 다양한 식물을 가해하는 다식성 해충이다. 국내 작물로는 귤류, 양뽕나무, 대추 등을 가해할 수 있다.
금지 I	7	<i>Zeugodacus cucurbitae</i> (Coquillett, 1899) 오이과실파리	금지	인도에서 동남아시아까지 넓게 분포하며, 다양한 지역으로 도입되었다. 박과식물을 가해하는 과실파리 중에서 가장 위험한 해충이며, 박과식물 외에도 11개 식물의 과를 가해한 기록도 있다.
금지 I	8	<i>Bactrocera neohumeralis</i> (Hardy, 1951) 작은퀸즐랜드과실파리	금지	호주, 파푸아뉴기니에 분포하며 매우 다양한 과를 가해하는 다식성 해충이다. 국내 작물로는 귤류, 복숭아, 자두, 살구, 배, 대추 등을 가해할 수 있다.
금지 I	9	<i>Bactrocera latifrons</i> (Hendel, 1915) 납방고추과실파리	금지	동양구에 널리 분포하는 협식성 해충이나, 국내 주요 작물인 고추, 가지, 토마토를 가해하므로 주의할 필요가 있다.
금지 I	10	<i>Bactrocera tsuneonis</i> (Miyake, 1919) 일본귤과실파리(개칭)	금지	일본 남부(큐슈까지)와 중국 남서부에 분포하는 협식성 해충으로, 주로 귤류를 가해한다. 그 분포범위로 볼 때, 도입 시 제주도에서 월동 가능성이 있는 검역해충이다.
금지 I	11	<i>Bactrocera minax</i> (Enderlein, 1920) 중국귤과실파리(신칭)	금지	인도 동부에서 중국 남서부까지 분포하는 협식성 해충으로, 주로 귤류를 가해한다. 그 분포범위로 볼 때, 도입 시 제주도에서 월동 가능성이 있는 검역해충이다.
금지 I	12	<i>Bactrocera jarvisi</i> (Tryon, 1927) 차비스과실파리(신칭)	금지	호주에 광범위하게 분포하며 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충이다. 국내 작물로는 복숭아, 자두, 배, 귤류 등을 가해할 수 있다.

등급	순위	종 명	기준년	등급분류 근거
금지 I	13	<i>Bactrocera aquilonis</i> (May, 1965) 노턴준주과실파리(신칭)	금지	호주에 분포하며, Vargas (2015)는 <i>B. tryon</i> 의 동물이명으로 추정하였다. 분류학적 문제가 해결될 때까지 주요 검역해충인 <i>B. tryon</i> 에 준하여 취급할 필요가 있다.
금지 I	14	<i>Anastrepha suspensa</i> (Loew, 1862) 카리브해과실파리	금지	카리브해의 섬들에 분포하며, 미국 플로리다까지 도입된 바 있다. 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충이며, 국내 작물로는 복숭아를 가해할 수 있다.
금지 I	15	<i>Anastrepha fraterculus</i> (Wiedemann, 1830) 남미과실파리(신칭)	금지	미국 남부와 중남미에서 다양한 식물을 가해하는 다식성 해충이며, 국내 작물로는 귤, 체리, 복숭아 등을 가해할 수 있다.
금지 I	16	<i>Bactrocera frauenfeldi</i> (Schiner, 1868) 망고과실파리(신칭)	금지	파푸아뉴기니 등지에 널리 분포하며 호주로 도입된 바 있다. 망고가 넘는 식물의 과를 가해하는 다식성 해충이며, 국내 작물로는 꿀류 등을 가해할 수 있다.
금지 I	17	<i>Anastrepha ludens</i> (Loew, 1873) 멕시코과실파리(신칭)	금지	남미에서 미국의 텍사스 주까지 분포한다. 다양한 식물을 가해하는 다식성 해충이며, 국내 작물로는 귤, 복숭아 등을 가해할 수 있다.
금지 I	18	<i>Zeugodacus tau</i> (Walker, 1849) 타우과실파리(신칭)	금지	인도에서 동남아시아 및 중국 남서부까지 널리 분포한다. 주로 박과식물의 과실을 가해하나, 다른 8개 식물의 과를 가해한 기록이 있는 적응성이 뛰어나며 흔한 해충이다.
금지 I	19	<i>Carpomyia pardalina</i> Bigot, 1891 러시아참외과실파리(신칭)	금지	이집트와 코카서스지방에서 인도 서부까지 분포하며 오이와 참외, 수박의 해충이다. 분포 기후대로 볼 때, 침입 시 국내에 정착할 위험성이 높다.
금지 I	20	<i>Ceratitis rosa</i> Karsch, 1887 나탈과실파리(신칭)	금지	아프리카에 분포한다. 19개 과의 다양한 숙주식물을 가지는 다식성 해충이나 같은 속의 지중해과실파리 만큼은 적응성이 뛰어나지 않다. 국내 작물로는 꿀류, 복숭아 등을 가해할 수 있다.
금지 I	21	<i>Rhagoletis pomonella</i> (Walsh, 1867) 사과과실파리	금지	북미에서 사과의 주요 해충이다. 분포지역의 기후가 한국과 유사하므로, 도입 시 쉽게 정착 가능한 위험해충으로 사료된다.
금지 I	22	<i>Zeugodacus cucumis</i> (French, 1907) 호주오이과실파리(신칭)	금지	호주 동부에 분포하며, 오이나 박과식물의 주요 해충이다. 토마토 등 다른 식물들을 가해한 기록도 있다.
금지 II	23	<i>Bactrocera kraussi</i> (Hardy, 1951) 크라우스과실파리(신칭)	금지	호주 동북부에 분포하는 주요 다식성 해충이다. 국내 작물로는 꿀류를 가해할 수 있다.
금지 II	24	<i>Bactrocera curvipennis</i> (Froggatt, 1909) 뉴칼레도니아과실파리(신칭)		뉴칼레도니아에 제한적으로 서식하나, 20개 식물과를 가해하는 중요한 다식성 해충이다. 국내 작물로는 꿀류를 가해할 수 있다.
금지 II	25	<i>Bactrocera facialis</i> (Coquillett, 1909) 통가과실파리(신칭)		통가에 제한적으로 서식하나, 피망고추, 꿀류를 비롯한 11개 식물과를 가해하는 다식성 해충이다.
금지 II	26	<i>Bactrocera kirki</i> (Froggatt, 1911) 키르크과실파리(신칭)		사모아, 통가, 타히티 등 남태평양의 섬들에 분포하는 심각한 다식성 해충으로 국내 작물로는 꿀류 등을 가해할 수 있다.
금지 II	27	<i>Bactrocera psidii</i> (Froggatt, 1899) 남태평양과실파리(신칭)		뉴칼레도니아에 분포하며, 많은 작물을 가해하는 심각한 다식성 해충이다. 국내 작물로는 꿀류를 가해할 수 있다.
금지 II	28	<i>Bactrocera melanotus</i> (Coquillett, 1909) 쿱제도과실파리(신칭)		남태평양의 쿱제도에만 분포하며, 파파야와 꿀류를 가해하는 심각한 해충이다. 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.
금지 II	29	<i>Bactrocera passiflorae</i> (Froggatt, 1911) 피지와과실파리(신칭)		캐슈넛, 파파야, 꿀류, 가지, 아보카도를 비롯한 많은 숙주식물을 가해하는 주요 해충이다. 피지와 인근 도서에만 분포하나, 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.
금지 II	30	<i>Bactrocera trilineola</i> Drew, 1989 바누아투과실파리(신칭)		바누아투에 서식하며 망고 등 다양한 작물을 가해하는 주요해충이다. 국내 노지작물의 해충으로 알려져 있지는 않으나, 다식성이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.
금지 II	31	<i>Bactrocera xanthodes</i> (Broun, 1904) 섬과실파리(신칭)		남태평양의 피지나 사모아 등의 섬에 분포한다. 뽕나무의 주요해충으로 알려져 있으나, 20개 식물과를 가해한 기록이 있다. 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.
금	32	<i>Bactrocera bancroftii</i> (Tryon, 1927)		호주와 파푸아뉴기니에 분포하며, 뽕나무류를 가해하는 협식성해충이다. 국내 작물로는 뽕나무나 구찌뽕나무의 열매를

등급	순위	종 명	기 원 지 역	등급분류 근거
지 II		뽕나무과실파리(신칭)		가해할 위험성이 있다.
금지 II	33	<i>Bactrocera caryeae</i> (Kapoor, 1971) 인도과실파리(신칭)		6개 식물의 과에 속하는 과실을 가해하는 협식성 해충이다. 한국 재배식물종류 중에서는 굴류를 가해하므로 주의할 필요가 있다.
금지 II	34	<i>Bactrocera occipitalis</i> (Bezzi, 1919) 필리핀과실파리(신칭)		굴류, 구아바, 망고 등을 가해하는 협식성 해충이다. 한국 재배식물로는 굴류를 가해하므로 주의할 필요가 있다.
금지 II	35	<i>Bactrocera trivialis</i> (Drew, 1971) 뉴기니아과실파리(신칭)	금지	뉴기니아에 주로 서식하며 10개 식물과를 가해한 기록이 있는 협식성 해충이다. 한국 재배식물로는 고추, 복숭아를 가해할 수 있다.
금지 II	36	<i>Anastrepha obliqua</i> (Macquart, 1835) 서인도제도와실파리(신칭)	금지	중남미에서는 망고나 구아바를 주로 가해하는 비교적 경미한 해충으로 알려져 있으나, 그 외에도 다양한 숙주식물의 기록이 있다. 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.
금지 II	37	<i>Anastrepha serpentina</i> (Wiedemann, 1830) 사포테과실파리(신칭)	금지	미국 남부에서 중남미까지 분포하며, 국내 작물로는 굴류를 가해할 가능성이 있다. 일반적으로 심각한 해충으로는 취급되지는 않으나, 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.
금지 II	38	<i>Rhagoletis cingulata</i> (Loew, 1862) 체리과실파리(신칭)	금지	북미에서 양벚나무 열매를 가해하는 주요 해충이며, 분포구역의 기후가 한국과 유사하므로 침입 시 정착할 확률이 크다. 실제로 스위스와 이태리에 정착하였다.
금지 II	39	<i>Rhagoletis cerasi</i> (Linnaeus, 1758) 유럽양벚과실파리(신칭)	금지	유럽에서 양벚나무 열매를 가해하는 주요 해충이며, 분포구역의 기후가 한국과 유사하므로 침입 시 정착할 확률이 크다.
금지 II	40	<i>Rhagoletis completa</i> Cresson, 1929 남방호두과실파리(신칭)	금지	멕시코와 미국(미네소타 남쪽) 원산으로 유럽 남부에 정착한 기록이 있다. 한국 남부에도 정착이 가능한 해충으로 사료된다. 실제로 스위스와 이태리에 정착하였다.
금지 II	41	<i>Dacus ciliatus</i> Loew, 1862 에티오피아과실파리(신칭)		박과식물(열매)을 가해한다. 아프리카 원산이나, 중동이나 인도, 파키스탄 등지에 도입이 되었으므로 침투성이 높은 해충이다.
금지 III	42	<i>Zeugodacus diversus</i> (Coquillett, 1904) 남방호박꽃과실파리(신칭)		박과식물(꽃)을 가해하며 분포범위가 넓어 파키스탄에서 중국 남서부까지 서식한다. 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.
금지 III	43	<i>Bactrocera pyrifoliae</i> Drew & Hancock, 1994 태국복숭아과실파리(신칭)		베트남과 태국의 북부에 서식하며 주로 핵과류를 가해하는 해충이다. 한국에서는 복숭아, 배 등을 가해할 위험이 있다.
금지 III	44	<i>Bactrocera bryoniae</i> (Tryon, 1927) 호주고추과실파리(신칭)		바나나, 고추 등을 가해하는 협식성 해충이며, 파푸아뉴기니 및 호주 비스마르크 군도에만 분포한다. 고추를 가해하는 해충이므로 주의할 필요가 있다.
금지 III	45	<i>Bactrocera halfordiae</i> (Tryon, 1927) 할포디아과실파리(신칭)	금지	호주 서부에 분포하며 굴류 등을 가해하는 협식성 해충이다.
금지 III	46	<i>Zeugodacus decipiens</i> (Drew, 1972) 파푸아호박과실파리(신칭)		파푸아뉴기니의 뉴브리튼섬으로 분포가 제한된 편이나, 도입 시 제주도에서 재배하는 박과식물을 가해할 가능성이 있다.
금지 III	47	<i>Zeugodacus scutellaris</i> (Bezzi, 1913) 동남아호박꽃과실파리(신칭)		박과식물의 꽃을 가해하며 분포범위가 넓어 중국 남서부까지 서식한다, 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.
금지 III	48	<i>Dacus solomonensis</i> Malloch, 1939 솔로몬호박과실파리(신칭)		솔로몬군도 및 부건빌섬에 분포하며, 호박이나 오이를 가해하는 해충이다.
금지 III	49	<i>Zeugodacus strigifinis</i> (Walker, 1861) 호주호박꽃과실파리(신칭)		인도네시아, 파푸아뉴기니, 호주 등지에서 박과식물의 꽃을 가해하며, 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.
금지 III	50	<i>Zeugodacus triangularis</i> (Drew, 1968) 뉴기니호박꽃과실파리(신칭)		뉴기니의 비스마르크제도에 분포하며 박과식물의 꽃을 가해한다. 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.
금지 III	51	<i>Bactrocera oleae</i> (Rossi, 1790) 올리브과실파리(신칭)	관리	올리브류의 주요 해충이며, 제주도에서도 올리브의 재배가 시작되었으므로 금지해충으로 격상할 필요가 있다.



등급	순위	종 명	기준에 따른	등급분류 근거
금지 III	52	<i>Bactrocera musae</i> (Tryon, 1927) 바나나과실파리(신칭)		바나나의 주요 해충이나, 9개 식물과의 다양한 종들을 가해한 기록이 있어 주의가 요망된다.
금지 III	53	<i>Pliorecepta poeciloptera</i> (Schrank, 1776) 아스파라거스과실파리(신칭)	관리	유럽에서 아스파라거스의 주요 해충이다. 한국에서 아스파라거스 재배가 증가 추세이며, 온대지역 분포 해충이므로 금지과실파리로 격상할 필요가 있다.
금지 III	54	<i>Rhagoletis indifferens</i> Curran, 1932 서부양벚과실파리	금지	북미에서 양벚나무 열매의 주요 해충이다. 스위스에 침입 및 정착했던 기록이 있으며, 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.
금지 III	55	<i>Rhagoletis fausta</i> (Osten Sacken, 1877) 블랙체리과실파리(신칭)	금지	북미에서 양벚나무 열매의 주요 해충이다. 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.
금지 III	56	<i>Rhagoletis suavis</i> (Loew, 1862) 호두과실파리(신칭)	금지	북미에 분포하며 해충성은 남방호두과실파리에 못 미치나, 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.
금지 III	57	<i>Anastrepha striata</i> Shiner, 1868 신세계 Lectotype 파리(신칭)	금지	중남미에서는 구아바의 해충으로 알려져 있으며, 그 외에도 다양한 식물을 가해한 기록이 있다. 한국의 노지재배되는 식물종을 가해한 기록은 없으나 다식성 해충이므로 가해할 수 있다.
금지 III	58	<i>Bactrocera tuberculata</i> (Bezzi, 1916) 중국망고과실파리(신칭)	금지	중국남부와 버마에 분포하며 8개 식물과를 가해한 기록이 있는 협식성 해충이다. 주로 망고와 파파야의 중요성이 비교적 적은 해충으로 알려져 있다.
금지 III	59	<i>Zonosemata electa</i> (Say, 1830) 고추과실파리	금지	북미에 분포하며 고추 및 가지를 간혹 가해하는 해충으로 알려져 있다. 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.
금지 III	60	<i>Ceratitidis quinaria</i> (Bezzi, 1918) 닷점박이과실파리(신칭)	금지	아프리카에 분포하며 주요 해충으로 인식된 적은 없으나, 한국 도입 시 살구, 복숭아, 귤류를 가해할 수 있다.
관리 IV	무	<i>Bactrocera albistrigata</i> (Meijere, 1911) 동남아망고과실파리(신칭)		동남아에 분포하며, 한국에서 노지재배되는 작물 종을 가해한 기록은 없다. 그러나 6개의 식물과를 가해한 기록으로 볼 때, 협식성과 다식성의 중간 위치를 차지하므로 주의할 필요가 있다.
관리 IV	무	<i>Zeugodacus atrisetosus</i> (Perkins, 1939) 남방호박과실파리(신칭)		파푸아뉴기니에서 주로 박과식물을 가해하는 해충이며, 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 없지 않다.
관리 IV	무	<i>Zeugodacus caudatus</i> (Fabricius, 1805) 열대호박꽃과실파리(신칭)		인도에서 대만까지 널리 분포하며, 박과식물을 가해한다. 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 없지 않다.
관리 IV	무	<i>Zeugodacus hochii</i> (Zia, 1936) 수세미과실파리(신칭)		동남아에 분포하며, 수세미를 비롯한 3종의 박과식물을 가해하는 것으로 알려져 있다.
관리 IV	무	<i>Zeugodacus mundus</i> (Bezzi, 1919) 애호박과실파리(신칭)		대만과 필리핀에 분포하며, 애호박류를 가해한다.
관리 IV	무	<i>Anastrepha grandis</i> (Macquart, 1846) 남미호박과실파리(신칭)		이 종은 현재 금지해충으로 지정되어 있으나, 해충성과 제한된 분포범위로 볼 때, 관리급으로 격하할 필요가 있다. 남미에서 박과식물을 가해하며 분포도 비교적 제한된 편이나, 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 없지 않다.
관리 IV	무	<i>Rhagoletis mendax</i> (Curran, 1932) 블루베리과실파리(신칭)		북미에서 블루베리의 주요 해충이다. 국내의 블루베리 재배농가의 증가에 따라 주목할 필요가 있다. 분포 기후대가 한국과 비슷하므로 도입 시 정착가능성이 높다.
관리 IV	무	<i>Euleia heraclei</i> (Linaneus, 1758) 셀러리과실파리(신칭)	관리	분포범위로 볼 때, 도입 시 한국에 정착될 확률이 크다. 일반 작물로는 셀러리를 가해할 수 있으며, 산형과(Apiaceae)에 속하는 당귀 등의 약초들을 가해할 가능성이 있으므로 주의할 필요가 있다. 이 종의 분포범위로 볼 때, 한국에 실제 자생하고 있을 가능성이 있다. 본인들의 경험에 따르면 이들은 높은 밀도로 서식하는 지역에서도 포충망으로는 매우 드물게 채집되며 박물관에 소장된 표본들은 대부분 숙주식물에서 우화시킨 것들이다.
관리	무	<i>Euphranta canadensis</i> (Loew, 1873) 커런트과실파리(신칭)	관리	국내에서도 커런트류가 재배되며, 같은 속의 까치밥나무가 자생한다. 따라서 북미에 서식하는 이 해충의 도입 시 정착할

등급	순위	종 명	기준등급	등급분류 근거
IV				가능성이 있으므로, 관리등급을 유지할 필요가 있다.

## 붙임 2. 금지 및 관리 등급에서 제외 후보종.

등급	순위	종 명	기준등급	금지 및 관리등급 제외 근거
무	무	<i>Anastrepha distincta</i> Greene, 1934 잉가과실파리(신칭)	금지	남미에 분포하는 <i>Inga</i> 속 식물을 주로 가해한다. <i>Inga</i> 속에는 주요 경제작물들이 포함되나, 한국에서 노지재배하는 작물을 가해한 기록은 없다.
무	무	<i>Anastrepha pseudoparallela</i> (Loew, 1873)	금지	미국남부와 중미에서 시계꽃속( <i>Passiflora</i> spp.)만을 가해하는 협식성 과실파리로서 한국에서는 검역적으로 위험한 종으로 볼 수 없다.
무	무	<i>Bactrocera murrayi</i> (Perkins, 1939)	금지	파푸아뉴기니와 호주에서 망고 및 수리남체리를 가해하며 한국의 노지재배식물에는 위험성이 없는 것으로 사료된다.
무	무	<i>Bactrocera opiliae</i> (Drew & Hardy, 1981)	금지	호주에 자생하는 <i>Opilia amentacea</i> 를 가해하는 단식성 과실파리로서, 한국의 노지재배식물에 위험성이 없는 것으로 사료된다.
무	무	<i>Bactrocera umbrosa</i> (Fabricius, 1805) 빵나무과실파리(신칭)	금지	말레이시아와 필리핀 등지에서 <i>Artocarpus</i> 속(빵나무, 잭프루트 등)에 국한하여 가해하는 것으로 알려져 있으므로, 한국의 노지재배식물에 위험성이 없는 것으로 사료된다.
무	무	<i>Acanthiophilus helianthi</i> (Rossi, 1794) 홍화꽃과실파리	관리	본 종은 한국 분포가 확인되었으므로(Han & Ro, 2018) 관리해충목록에서 제거할 필요가 있다. 유럽 및 중동의 다소 건조한 지역에서 채유용으로 널리 재배하는 잇꽃(= 홍화꽃, <i>Carthamus tinctorius</i> )의 주요 해충으로 알려져 있으나, 한국에서는 희귀하며 해충성이 증명되지 않았다.
무	무	<i>Trupanea pseudovicina</i> (Hering, 1947)	관리	미국 캘리포니아에서 자생하는 국화과 식물인 <i>Prophyllum gracile</i> 의 두상화를 섭식한다. 숙주식물이 경제작물이 아니며 한국에 자생하지도 않으므로, 관리해충 목록에서 제외할 필요가 있다.

## 제2장 위해성 과실파리 도해집 제작

### 1. 연구요약

검역현장에서 위해성 과실파리들을 신속·정확하게 동정하기 위해서는 모든 대상종들이 집대성된 도해집이 필수적이다. 이들의 동정을 위한 정보는 현재 수많은 문헌들로 흩어져 있으므로, 이를 종합하고 개선할 필요성이 있다. 금지급 후보 60 종과 관리급 후보 9 종을 포함하였다. 또한 한국의 자생 과실파리 중에서도 검역에 관련성이 있다고 판단되는 호박과실파리, 호박꽃과실파리, 녹나무과실파리, 홍화꽃과실파리를 포함하는 총 73 종을 수록하였다.

### 2. 재료 및 방법

각 종별 동물이명 목록과 분류체계는 대부분 Norrbom et al. (1999)의 것을 따랐으며, 추가적으로 최근의 분류체계 수정 내용(예, De Meyer et al., 2015)들을 적용시켰다. 동물이명에서 인용된 문헌과 약어는 지면관계상 포함시키지 않았으므로, Norrbom et al. (1999)을 참조해야 한다. 분류군 배열순서는 가장 많은 검역해충을 포함하는 Dacini족을 시작으로, Ceratitidini, Toxotrypanini, Carpomyini족 순으로 배열하였으며, 이 4개 족에 속하지 않는 4종은 뒤쪽에 알파벳순으로 포함시켰다. 본 도해집에는 각 해충의 종명 및 국명, 동물이명, 검역해충 등급제안, 등급분류의 근거, 기존등급 등을 명시하였으며, 종의 동정에 활용할 수 있는 화상자료 및 진단형질, 간결한 기재문, 종동정시 DNA 바코드 판단기준을 제시하였다. 이 외에 숙주범위, 분포, 유인제 등도 편리하게 참고할 수 있도록 하였다.

### 3. 한국의 검역상 중요한 과실파리 등급분류 제안 및 도해집(2019 12월 출판)

#### 1. *Bactrocera (Afrodacus) jarvisi* (Tryon, 1927)

국명: 자비스과실파리(신칭)

영명: Jarvis's fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus jarvisi* Tryon 1927: 201. — Australia. Queensland: Stanthorpe, 3000 ft. Holotype ♀ QMBA.

*Dacus australis* var. *halterata* Hendel 1928: 342. — Australia. Queensland: Cairns. Holotype ♀ DEI.

*Dacus australis* Hendel 1928: 341. — Australia. Northern Territory: Palmerston [Darwin]. Syntype ♂♀ DEI.

*Chaetodacus jarvisi* var. *careya* Tryon 1927: 202. — Nomen nudum. Australia.

Queensland: Bowen, Rockhampton District; & Burnett Heads. Syntype ♂♀  
QMBA. Published without diagnosis or indication. Type data (Drew 1989:  
21).

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 12위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 호주에 광범위하게 분포하며 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충  
이다. 국내 작물로는 복숭아, 자두, 배, 귤류 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 외형적으로 비교적 독특하며, 특히 어깨돌기부터 날개 앞부분까  
지 넓은 황색 띠가 형성되어 있는 것으로 근연종들과 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면  
하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 가슴은  
적갈색이고 어깨돌기와 작은방패판은 황색이다. 어깨돌기 바로 뒤쪽에 넓은 황색  
띠가 날개 앞부분까지 연결된다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은  
황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 중앙에는 띠  
가 없다. 가슴의 측판에도 넓은 황색 띠가 방패판의 황색 띠와 연결되어 있다.  
작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색에서 갈색을  
띤다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥에서 더 좁아지며,  
이후 점차적으로 넓어지다가 R<sub>4+5</sub>맥을 지나 M맥에 이르기 2/3쯤에서 끝난다. 추  
가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 적갈색 바탕이  
며, 제3등판 전단 1/3을 따라 흑색 가로띠가 있으며 중앙부에서 제5등판 끝까지  
뻗어 있는 가는 세로띠와 함께 명확한 T-무늬를 형성한다. 암컷의 산란통은 적  
갈색이며, 제5등판 길이의 1.5배 정도 된다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 169쪽 참조.

**숙주범위:** 호주에서 매우 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충 - Anacardiaceae,  
Annonaceae, Arecaceae, Cactaceae, Caricaceae, Celastraceae,  
Chrysobalanaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Curcubitaceae, Ebenaceae,  
Elaeocarpaceae, Lauraceae, Lecythidaceae, Malpighiaceae, Meliaceae,  
Moraceae, Musaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae,  
Punicaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Sapotaceae,  
Solanaceae [상세한 숙주 목록은 Hancock et al. (2000) 참조].

**가해 가능한 국내작물:** 복숭아, 자두, 배, 귤류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들  
도 가해할 수 있다.

**분포:** 호주 (WA, NT, Qld., NSW, Lord Howe I.).

**유인제:** Zingerone에 강하게 유인되며, cue-lure에도 약하게 유인됨.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 10개의 바코드를 찾을  
수 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코  
드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다.



그림 1. 자비스과실파리(*Bactrocera jarvisi*)의 수컷(윗줄 + 머리)과 암컷(아랫줄). Photos by H.-Y. Han.

## 2. *Bactrocera (Bactrocera) albistrigata* (Meijere, 1911)

국명: 동남아망고과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus albistrigatus* Meijere 1911: 377. — Indonesia. Java: Batavia [Jakarta].

HT ♀ ZMAN?

**검역해충 등급제안:** 관리해충 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 동남아에 분포하며, 한국에서 노지재배되는 작물 중을 가해한 기록은 없다. 그러나 6개의 식물과를 가해한 기록으로 볼 때, 협식성과 다식성의 중간 위치를 차지하므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종의 날개 무늬는 독특하게 3개의 띠가 사선으로 나란히 있으며, 기부의 2개는 갈색, 말단부의 것은 연노란색이다. 이 문양은 *B. frauenfeldi*와 *B. trilineola*의 것과 비슷하나, *B. albistrigata*의 어깨돌기와 작은방패판이 황색이며, 다리가 훨씬 옅은 점으로 쉽게 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 흑갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 어깨돌기, 작은방패판, 날개 앞쪽에서 측판 중앙 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이며, 뒷다리 종아리 마디가 갈색을 띤다. 날개는 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전연문(pterostigma)부터 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에서 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다 또한 전연문(pterostigma) 아래부터 R-M맥과 R<sub>4+5</sub>맥을 따라 사선의 갈색무늬가 있다. 복부등판 1은 흑갈색, 등판 2는 황갈색 바탕에 중앙에 좁은 흑갈색 세로띠가 있다. 제3~5등판은 흑갈색 바탕에 1쌍의 넓은 황갈색 세로띠가 중앙으로 나있다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제5등판 길이보다 약간 짧다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 174쪽 참조.

**숙주범위:** Anacardiaceae, Apocynaceae, Combretaceae, Moraceae, Myrtaceae, Verbenaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 한국 노지재배 식물을 가해한 기록은 없으나, 협식성(6개 식물과)이므로 다른 작물의 위해 가능성도 있다.

**분포:** 인도(안다만섬), 태국 중부와 남부, 말레이시아, 싱가포르, 인도네시아 등지에 분포.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 24개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다. 바코드 계통분석에 따르면, 형태적으로 유사한 *B. frauenfeldi*와 근연종으로 보인다.

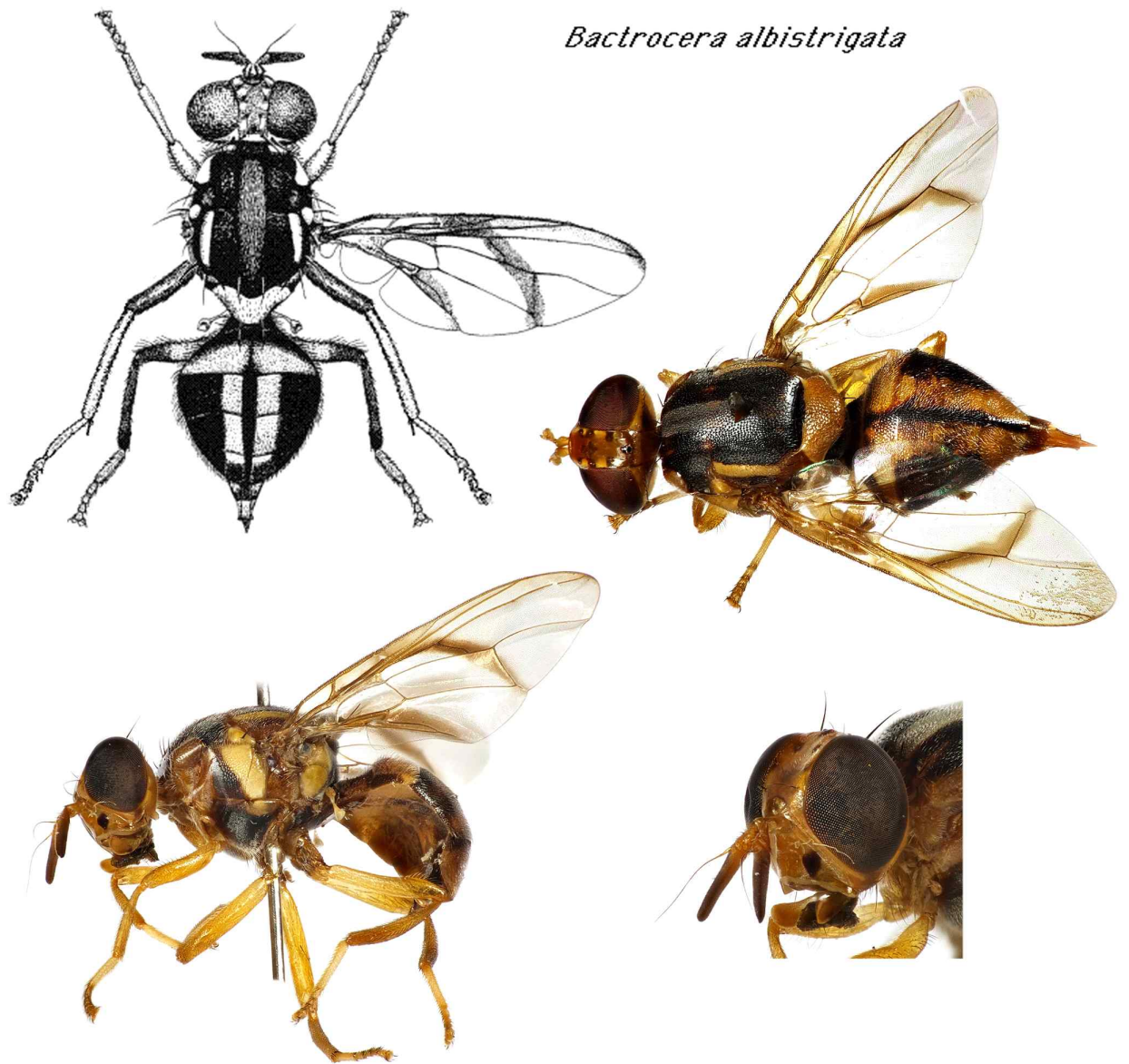


그림 2. 동남아망고과실파리(*Bactrocera albistrigata*) 암컷(윗줄) 및 수컷(아랫줄). Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

### 3. *Bactrocera (Bactrocera) aquilonis* (May, 1965)

국명: 노던준주과실파리(신칭)

영명: Northern Territory fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Strumeta aquilonis* May 1965: 62. — Australia. Northern Territory: Nightcliff.

HT ♂ QMBA.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 13위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 호주에 분포하며, Vargas (2015)는 *B. tryoni*의 동물이명으로 추정하였다. 분류학적 문제가 해결될 때까지 주요 검역해충인 *B. tryoni*에 준하여 취급할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 황오렌지 색을 띤다. *B. tryoni*와 비슷하나 복부등판에 어두운 문양이 없는 점으로 구분할 수 있다. 그러나 Vargas et al. (2015)은 이들이 *B. tryoni*의 변이체일 가능성을 지적하였다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경은 황오렌지색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 중앙 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에 이르기 2/5쯤 전에 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다. 복부등판들은 오렌지색이며 무늬가 없다. 암컷의 산란통은 복부와 동일하게 황오렌지색이며 제5등판 길이와비슷하다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 179쪽 참조.

**숙주범위:** 호주에서 매우 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충 - Annonaceae, Arecaceae, Chrysobalanaceae, Combretaceae, Curcubitaceae, Ebenaceae, Elaeocarpaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Meliaceae, Myrtaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Santalaceae, Sapotaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 피망, 토마토, 사과, 망고, 복숭아 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 호주 (WA, NT).

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 70개체 이상을 찾을 수 있다. 근연종인 *B. curvipennis*, *B. erubescens*, *B. melas*, *B. neohumeralis*, *B. tryoni* 등과 바코드로 구분되지 않는다. 이들의 종 문제가 해결이 선결되어야 할 상황이다.



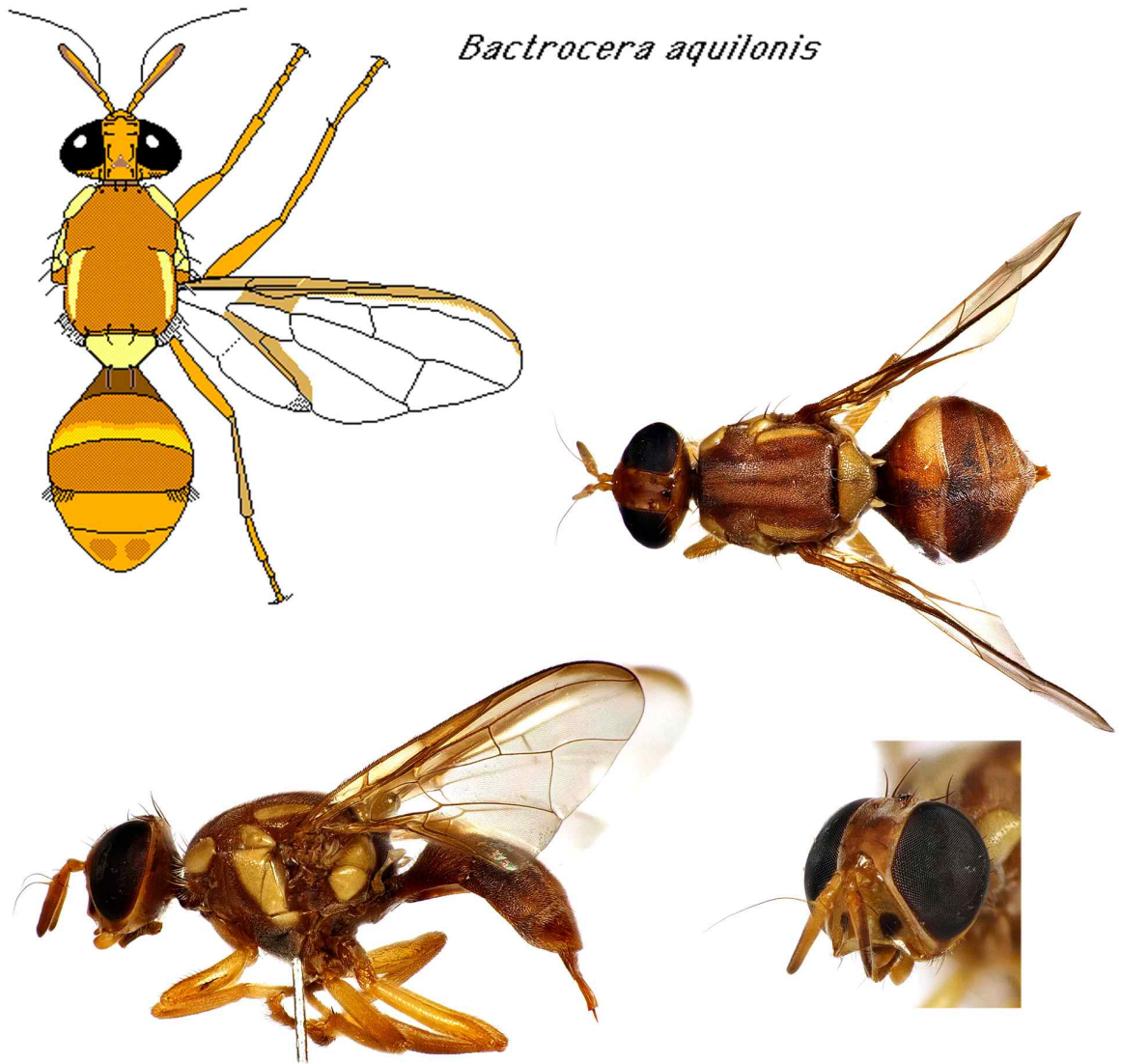


그림 3. 노던준주과실파리(*Bactrocera aquilonis*). Male drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Female Photos by H.-Y. Han.

#### 4. *Bactrocera (Bactrocera) bancroftii* (Tryon, 1927)

국명: 뽕나무과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus bancroftii* Tryon 1927: 199. — Australia. Queensland: Gympie District. LT ♂ QMBA. Lectotype designated by Drew 1989: 92.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 32위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 호주와 파푸아뉴기니에 분포하며, 뽕나무류를 가해하는 협식성해충이다. 국내 작물로는 뽕나무나 구찌뽕나무의 열매를 가해할 위험성이 있다.

**진단형질:** 이 종은 외형적으로 *B. latifrons* 및 *B. bryoniae*와 비슷하나 날개 전단의 가로무늬 말단부가 부풀어 있지 않으며, 전체적으로 좁은 점으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 대부분 흑색이며 측면과 후면에 갈색부분이 섞여있는 변이체들도 있다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 황갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥을 지나 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 황갈색 띠가 있다. 복부등판들과 산란통은 전체적으로 황갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** *Maclura* (구찌뽕), *Morus* (뽕나무) 속을 가해.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 작물로는 뽕나무와 구찌뽕나무 열매를 가해할 위험성이 있다.

**분포:** 호주 (Qld.), 파푸아뉴기니.

**유인제:** Methyl eugenol에 약하게 유인됨.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 2개의 바코드를 찾을 수 있으며, 다른 종들과는 명확히 구분되므로 쉽게 동정이 가능하다. 바코드 분석에 따르면, *B. jarvisis*와 근연종인 듯하다.



그림 4. 뽕나무과실파리(*Bactrocera bancroftii*) 수컷(1~2줄)과 암컷(아랫줄). Photos by H.-Y. Han.

5. *Bactrocera (Bactrocera) bryoniae* (Tryon, 1927),

국명: 호주고추과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus bryoniae* Tryon 1927: 192. — Australia. Queensland: Eidsvold. LT ♀ QMBA. Lectotype designated by Drew 1989: 47.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 44위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 바나나, 고추 등을 가해하는 협식성 해충이며, 파푸아뉴기니 및 호주, 비스마르크 군도에만 분포한다. 고추를 가해하는 해충이므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 외형적으로 *B. latifrons* 및 *B. bancroftii*와 비슷하나 날개 전단의 길은 가로무늬가 전체적으로 넓고 말단부가 부풀어 있지 않으며, 다리가 전체적으로 황색인 점으로 구분할 수 있다. 또한 복부 제3~5등판에 가는 세로선이 뚜렷한 점으로도 구분된다.

**성충형질:** 대형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 대부분 흑색이며 측면과 후면에 갈색부분이 섞여있다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리의 넓적다리마디들은 모두 황색-황갈색이다. 날개는 투명하며 넓은 황갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥을 지나 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 황갈색 띠가 있다. 복부등판들과 산란통은 전체적으로 황갈색 바탕에, 제1등판은 대체로 흑색, 제3등판에는 전반의 흑색 가로띠는 양옆으로 넓어져 있고 중앙에는 세로띠가 제4-5마디로 이어져 T-무늬를 형성한다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 바나나, 고추를 포함하는 5개 과의 식물들을 가해한 기록이 있다 - Curcubitaceae, Loganiaceae, Musaceae, Passifloraceae, Solanaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 고추 등. 협식성이므로 다른 작물의 위해 가능성도 있다.

**분포:** 파푸아뉴기니, 호주(WA, NT, Qld), 비스마르크군도.

**유인제:** Raspberry ketone, cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 7개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 바코드 분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루므로 쉽게 동정이 가능하며, *B. latifrons*와 근연종인 듯하다.

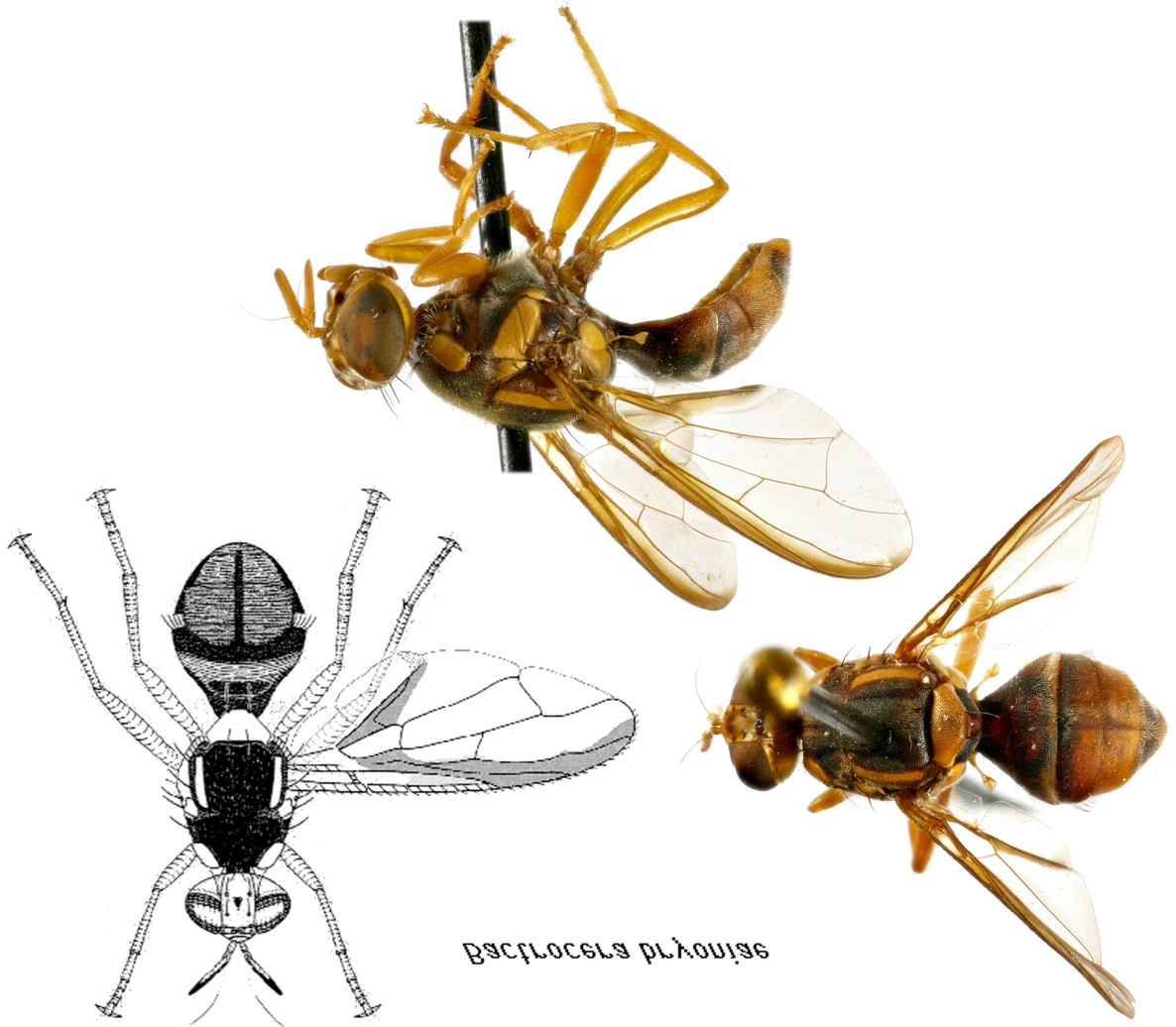


그림 5. 호주고추과실파리(*Bactrocera bryoniae*), male. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

6. *Bactrocera (Bactrocera) carambolae* Drew & Hancock, 1994

국명: 카람볼라과실파리(신칭)

영명: Carambola fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Bactrocera carambolae* Drew & Hancock 1994: 11. — Malaysia. Perak: Kuala Kangsar. Holotype ♀ BMNH.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 4위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 악명 높은 *B. dorsalis*와 구분하기 매우 힘들며, 동남아시아에서 분포범위가 중첩된다. 브라질 등 남미에 도입된 바 있으며, 카람볼라, 귤류, 대추 등 다양한 열대작물을 가해하는 다식성 해충이다.

**진단형질:** 오리엔탈과실파리와는 매우 구분하기 힘들며, 그 분포범위가 중첩된다. 오리엔탈과실파리와 다른 점: 1) 복부등판들의 중앙 세로무늬가 더 넓다. 2) 날개 전단의 갈색 무늬가 R<sub>2+3</sub>맥의 끝부분에서 좁아지지 않는 동시에 R<sub>4+5</sub>맥 부근에서는 넓어진다. 3) 앞 넓적다리마디 뒤쪽 말단부 가까이에 종종 갈색 내지 흑갈색의 점이 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 머리는 황갈색이며 얼굴에는 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 흑색이며 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 뒤에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등옆판 후반부에서부터 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 띠를 형성하며, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리의 넓적다리마디들은 모두 황색-황갈색이며, 앞다리넓적다리마디의 말단부 가까이에 대부분 갈색에서 흑갈색의 점이 있다. 앞다리 종아리마디는 옅은 갈색이며 뒷다리 종아리마디는 짙은 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장된다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 중앙 세로무늬가 뚜렷하다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제5등판 길이와 비슷하다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 193쪽 참조.

**숙주범위:** 매우 다양한 과를 가해하는 심각한 다식성 해충 - Alangiaceae, Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Loganiaceae, Meliaceae, Moraceae, Myristicaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Polygalaceae, Punicaceae, Rhamnaceae, Rhizophoraceae, Rutaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Simaroubaceae, Solanaceae, Symplocaceae (상세한 숙주 목록은 Allwood et al. (1999)을 참조할 것).

**가해 가능한 국내작물:** 귤류, 대추를 가해한 기록이 있으며, 다식성 해충이므로 다른 작물을 가해할 가능성도 있다.

**분포:** 태국, 베트남 남부, 말레이시아, 보르네오, 싱가포르, 인도네시아, 수리남, 프랑스 기아나, 구아나, 브라질.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 100개 이상의 바코드가 입력되어 있으며, 오동정(특히 *B. dorsalis*)으로 의심되는 것들도 종종 눈에 띈다. 따라서 특정 바코드 서열을 동정할 때는 최소 10개체 이상의 *B. carambola*와 클러스터를 이루며, 0.5%이내로 염기서열이 일치하는지 확인하여야 한다.



그림 6. 카람볼라과실파리(*Bactrocera carambolae*)의 수컷. Photos by H.-Y. Han.

## 7. *Bactrocera (Bactrocera) caryeae* (Kapoor, 1971)

국명: 인도굴과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus caryeae* Kapoor 1971: 479. — India. Karnataka: Mysore, Coorg. HT ♂ INPC.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 33위 — **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 6개 식물의 과에 속하는 과실을 가해하는 협식성 해충이다. 한국 재배식물종류 중에서는 굴류를 가해하므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 악명 높은 *B. dorsalis*와 비슷하나 방패판의 횡단봉합선 뒤쪽 양옆의 황색 띠가 확연이 가늘며, 방패판의 바탕색이 항상 흑갈색이다. *B. dorsalis* 종군 내에서는 *B. kandiensis* 및 *B. arecae*와 비슷하나, *B. caryeae*는 모든 넓적다리마디 말단 직전부에 작은 점이 있는 것과 복부 제3~5등판 양측에 넓은 흑갈색 띠가 있는 점으로 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 바탕색은 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 좁은 황색 세로띠가 작은 방패판 측면 전방의 인트라알라센털 앞부분에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 넓적다리마디들은 모두 황색 바탕에 말단 직전부에 작은 점이 있다. 앞다리 종아리마디는 옅은 갈색이며 뒷다리 종아리마디는 짙은 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥의 끝에 이르러 급격히 좁아지며, 다시 약간 넓어져서 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 흑갈색이 우세하며, 특히 제3~5등판 양측에 넓은 흑갈색 띠가 있으며, 중앙부에는 좁은 흑갈색 띠가 있다. 암컷의 산란통은 갈색이며 제5등판보다 길다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** Anacardiaceae, Lecythidaceae, Malpighiaceae, Myrtaceae, Rutaceae, Sapotaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 한국에서는 굴류를 가해할 수 있다.

**분포:** 인도 남부, 스리랑카.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 3개의 바코드를 찾을 수 있으며, 바코드 계통분석에 따르면, *B. kandiensis*와 같은 클러스터를 이룬다. 이 클러스터에는 상당수의 *B. dorsalis*들도 포함되어 있는데, 이는 아마도 오동정의 결과로 사료된다. 따라서 *B. kandiensis*와 *B. caryeae*는 근연종으로 생각되나, 보다 정확한 종의 판정을 위한 추가 연구가 필요한 상황이다.



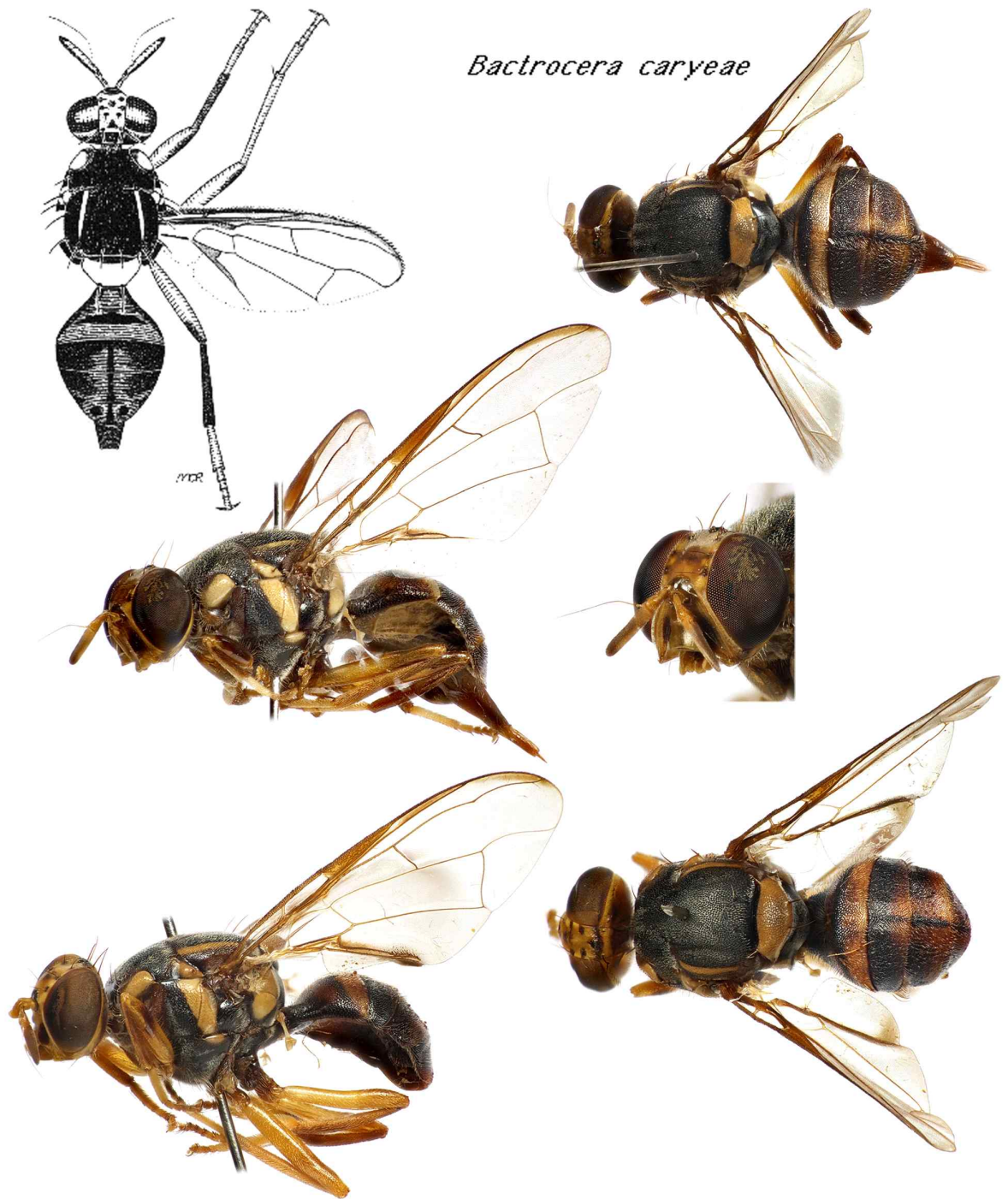


그림 7. 인도굴과실파리(*Bactrocera caryeae*) 암컷(1~2줄)과 수컷(아랫줄). Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

## 8. *Bactrocera (Bactrocera) correcta* (Bezzi, 1916)

국명: 구아바과실파리(신칭)

영명: Guava fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus correctus* Bezzi 1916: 107. — India. Bihar: Pusa; Tamil Nadu: Coimbatore; Guindy; & Hagari. Syntype ♂ ♀ ZSI.

*Dacus dutti* Kapoor 1971: 480. — India. Maharashtra: Poona. Holotype ♂ INPC.

*Strumeta paratuberculatus* Philip 1950: 31. — Burma. Aingyi. Holotype ♂ ZSI.

*Dacus bangaloriensis* Agarwal & Kapoor 1983: 169. — India. Karnataka: Bangalore, B. T. Farm. Holotype ♂ INPC.

*Bactrocera zonata*: Bezzi 1913: 94. — misid. see Bezzi 1916: 106.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제1급 6위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 인도에서 중국 남서부까지 널리 분포하며, 다양한 식물을 가해하는 다식성 해충이다. 국내 작물로는 귤류, 양벚나무, 대추 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 다른 대다수의 *Bactrocera* 종들은 타원형의 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있는 반면, 이 종은 이 점들이 연결되어 가로띠를 형성하는 것이 독특하다. 오리엔탈과실파리와 유사하나, 얼굴의 반점과 날개 전단부의 띠가 끊어진 점으로 쉽게 구분된다. 계통적으로는 *B. zonata*와 근연종이며 날개무늬가 거의 같으나, 대부분의 표본에서 방패판의 배경색이 *B. correcta*는 흑색, *B. zonata*는 적갈색인 점으로 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 하단부에 1개의 중앙 가로띠가 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 대체적으로 흑갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등엽판 후반부 및 그 아래로 측면 중앙을 지나 중흉앞하엽판 상부까지 황색의 띠를 형성하며, 후흉상·하엽등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 날개는 투명하며 좁은 황갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, R<sub>4+5</sub>맥 끝부분에 작은 흑갈색 반점이 있다. bcu맥실은 연한 황갈색이며, A<sub>1</sub>+Cu<sub>1</sub>맥을 따라 띠가 없다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 제3~5등판에 가는 중앙 세로무늬가 보이며, 제3등판의 가로무늬와 함께 희미하게라도 T-자를 형성한다. 암컷의 산란통은 황갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 베트남에서 특히 심각한 해충으로 알려져 있다. 망고, 구아바, 스포딜라, 대추 등의 해충이며, 다음과 같은 다양한 과를 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Cactaceae, Capparaceae, Caricaceae, Combretaceae, Curcubitaceae, Dipterocarpaceae, Elaeocarpaceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Lecythidaceae, Malpighiaceae, Meliaceae, Moraceae, Musaceae, Myristicaceae, Myrtaceae, Olacaceae, Oxalidaceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Simaroubaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류, 양벚나무, 대추 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 스리랑카, 인도, 네팔에서 동남아시아와 중국 남부까지 광범위하게 분포.

유인제: Methyl eugenol.

DNA 바코드: 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 1,000개 이상의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 현재 *B. zonata*로 오동정된 것으로 의심되는 2개체가 섞여있는 것을 제외하고 바코드 거리가 1% 이내로 일치하는 개체들의 명확한 동정이 가능한 것으로 사료된다.



그림 8. 구아바과실파리(*Bactrocera correcta*) 수컷과 암컷. Downloaded & modified from IAEA Imagebank (male - IAEA0641584, female - IAEA0641588).

9. *Bactrocera (Bactrocera) curvipennis* (Froggatt, 1909)

국명: 뉴칼레도니아과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus curvipennis* Froggatt 1909: 93. — Fiji. Viti Levu: Suva. ST ♂♀ NSWA?  
Lectotype designated by Drew 1989: 129 invalid, not from type locality.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 24위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 뉴칼레도니아에 제한적으로 서식하나, 20개 식물과를 가해는 중요한 다식성 해충이다. 국내 작물로는 귤류를 가해할 수 있다.

**진단형질:** 소형종이며, 날개 전단의 갈색 가로띠에서 R-M맥 쪽으로 짧은 띠가 연결되는 것으로 다른 대부분의 종들과 쉽게 구분될 수 있다.

**성충형질:** 소형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 상대적으로 작은 원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 황색 세로띠가 점차 좁아지다가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측면 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이다. 날개는 투명하며 넓은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에 이르기 2/5쯤 전에 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 이 가로띠는 R-M맥을 덮는 짧은 세로띠에 연결되어 있다. 추가로 bcu 맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다. 복부등판들은 적갈색이며, 제3등판 앞쪽 1/3을 따라 갈색 세로띠가 있다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 귤류와 망고의 해충으로 알려져 있으며, 다음과 같은 다양한 과를 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Calophyllaceae, Caricaceae, Combretaceae, Convolvulaceae, Ebenaceae, Longaniaceae, Malpighiaceae, Moraceae, Myrtaceae, Olacaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Tuttaceae, Solanaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 뉴칼레도니아, 바투아누, 피지.

**유인제:** Cue-lure, raspberry ketone.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 4개의 바코드가 입력되어 있다. 그러나 근연종인 *B. aquilonis*, *B. erubescens*, *B. neohumeralis*, *B. tryoni* 등과 바코드로 구분되지 않는다. 이들의 종 문제 해결이 선결되어야 할 상황이다.

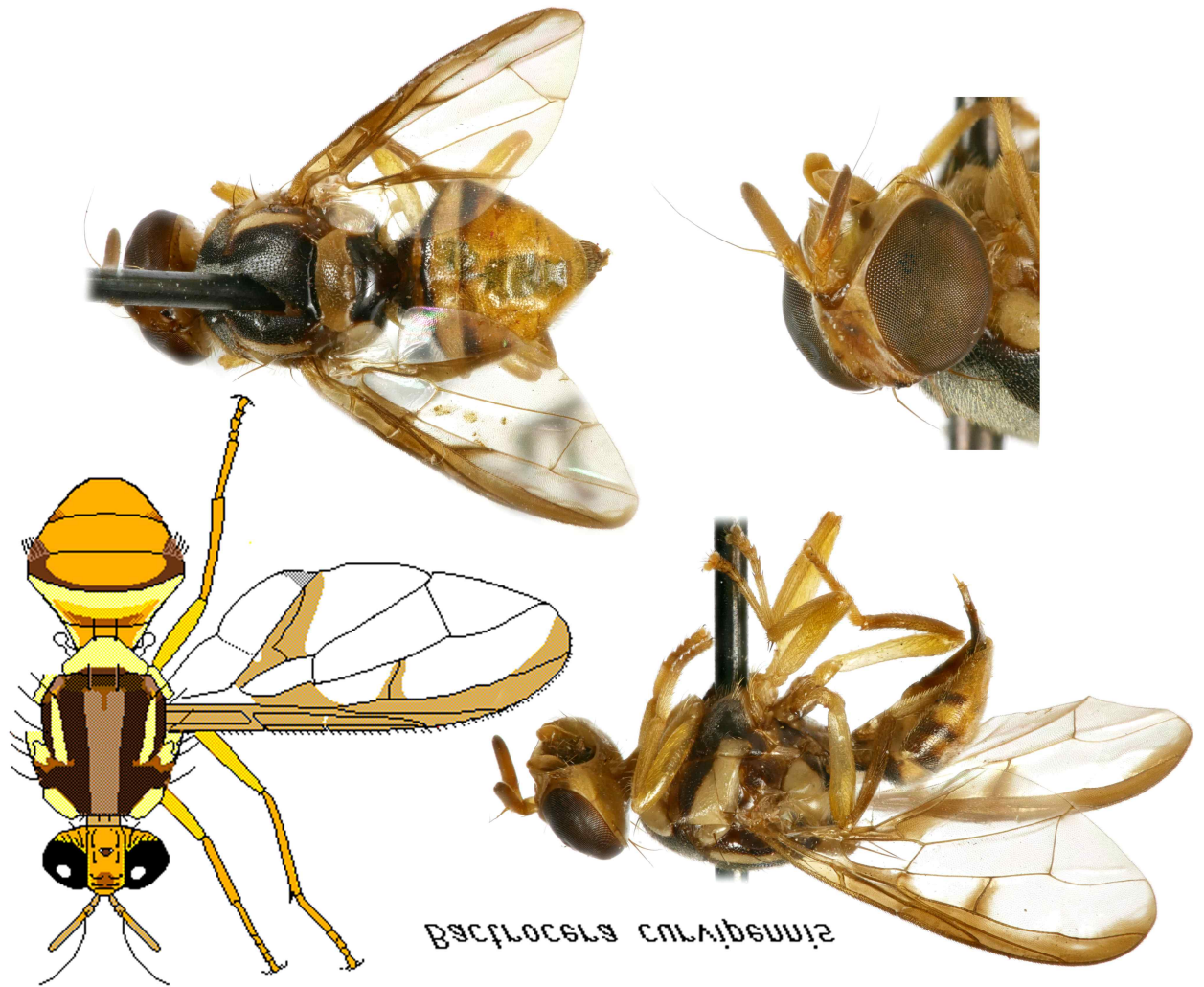


그림 9. 뉴칼레도니아과실파리(*Bactrocera curvipennis*). Male drawing, courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Female Photos by H.-Y. Han.

## 10. *Bactrocera (Bactrocera) dorsalis* (Handel, 1912)

국명: 오리엔탈과실파리, 귤과실파리

영명: Oriental fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus dorsalis* Hendel 1912: 18. — Taiwan. Koshun. Lectotype ♀ BMNH. Lectotype designated by Drew & Hancock 1994:17.

*Bactrocera conformis* Doleschall 1858: 122. — Indonesia. Maluku: Amboina [Ambon I.]. T A ZMHU. Preocc. Walker 1859; possibly also Syntype in NMW (Bezzi 1913: 69).

*Bactrocera papayae* Drew & Hancock 1994: 48. — Malaysia. Perak: Kuala Kangsar. Holotype ♀ BMNH.

*Bactrocera philippinensis* Drew & Hancock 1994: 52. — Philippines. Cebu. Holotype ♂ BBM.

*Bactrocera invadens* Drew, Tsuruta & White 2005: 149. — Kenya. Coast, Matuga. Holotype ♂ NMKE.

*Chaetodacus ferrugineus* var. *okinawanus* Shiraki 1933: 62. — Japan. Ryukyu Is.: Okinawa I., Nago, Katena, Mawashi & Nishibaru; Yayeyama Is., Kumejima, Gushikawa, Ishigaki & Taketomi. Syntype ♂♀ NTU.

*Musca ferruginea* Fabricius 1794: 342. — India orientali [e. India]. T A UZMC? Preocc. Scopoli 1763; Syntype apparently lost (Zimsen 1964: 484).

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제1급 1위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 많은 국내 재배작물을 포함하는 다양한 식물종들을 가해하며, 분포 범위가 동남아시아 전역에서 아프리카까지로 매우 넓은 대표적인 검역해충이다. 많은 지역에 도입된 사례들이 있으며, 한국에서도 예찰활동을 통하여 자주 확인되는 종이다. 다행히 아직 정착된 개체군은 없는 것으로 사료된다. *Bactrocera dorsalis*는 변이가 매우 심해서 과거에는 *B. papayae*, *B. philippinensis*, *B. invadens*로 구분되기도 했으나, 현재는 이들이 독립된 종이 아니라 오리엔탈과실파리의 지역적인 변이체들로 간주되고 있다(Schutze et al., 2015).

**진단형질:** *Bactrocera carambolae* 및 *B. verbascifoliae*와 매우 비슷하나, 날개 전단의 갈색 무늬가 R<sub>2+3</sub>맥의 끝부분을 지나서는 급격히 넓어지지 않는 점과, 앞 넓적다리마디가 무늬가 없이 전부 황갈색인 점으로 구분된다. 방패판과 복부등판들의 검정색 및 황갈색 부분들의 배합 패턴이 매우 변이가 심하므로 동정 시 감안하여야 한다(Leblanc et al., 2013 - 도판 참조할 것).

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 색깔은 흑색에서 갈색과 흑색이 섞여있는 다양한 변이형이 존재 한다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 넓적다리마디들은 모두 황색-황갈색이며 점이 없다. 앞다리 종아리마디는 옅은 갈색이며 뒷다리 종아리마디는 짙은 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥의 끝에 이르러 급격히 좁아지며, 다시 약간 넓어져서 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 변이가 심하다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제5등판 길이와 비슷하

다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 190쪽 참조.

**숙주범위:** 매우 다양한 과의 숙주들을 가해하는 가장 악명 높은 다식성 해충 - Alangiaceae, Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Loganiaceae, Meliaceae, Moraceae, Myristicaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Polygalaceae, Punicaceae, Rhamnaceae, Rhizophoraceae, Rutaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Simaroubaceae, Solanaceae, Symplocaceae (상세한 숙주 목록은 Allwood et al. (1999)을 참조할 것).

**가해 가능한 국내작물:** 가지, 감, 강낭콩, 고추, 귤, 라임, 모과, 무, 박, 복숭아, 사과, 살구, 수박, 여주, 오렌지, 오이, 자두, 체리, 토마토, 호두, 호박 등.

**분포:** 아프리카, 인도, 스리랑카, 네팔, 부탄, 미얀마, 중국 남부, 대만, 홍콩, 태국, 베트남, 캄보디아, 라오스, 하와이, 마리아나제도, 타이티.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 2000개 이상의 바코드가 입력되어 있으며, 다른 이름(*B. papayae*, *B. philippinensis*, *B. invadens*)로 기록되어 있는 것들도 많이 있다. 현재 BOLD에는 오동정 등에 의한 오류가 상당수 있으므로, 특정 바코드 염기서열을 *B. dorsalis*로 동정할 때는 일부 서열이 아닌 대부분의 서열과 0.5% 이내로 일치하며, 근연종인 *B. carambolae*와는 구분이 되는 것을 기준으로 판단하여야 한다.



그림 10. 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*)의 수컷. Photos by H.-Y. Han.



## 11. *Bactrocera (Bactrocera) facialis* (Coquillett, 1909)

국명: 통가과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus facialis* Coquillett 1909: 12. — Tonga I. LT ♂ USNM. Lectotype designation by inference of holotype by Greene in Perkins 1939: 9 (see Drew 1989: 133).

*Dacus tongensis* Froggatt 1911: 870. — Tonga. ST ♂♀ NSWA?

*Strumeta fascialis* Perkins 1939: 9. — missp. *facialis* Coquillett.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제2급 25위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 통가에 제한적으로 서식하나, 피망고추, 굴류를 비롯한 11개 식물과를 가해하는 다식성 해충이다.

**진단형질:** 이 종의 날개는 거의 투명하고 두꺼운 띠가 보이지 않으나, 몸의 독특한 무늬로 어떤 종과도 쉽게 구분이 가능하다. 특히 작은방패판에는 노랑 바탕에 중앙에 넓은 검정띠가 있으며(검정띠가 없는 것도 있음), 복부등판의 무늬도 상당히 독특하다(그림 참조). 추가로 얼굴에 어두운 점이 없는 것도 *Bactrocera*속에서는 드문 경우이다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색이며 점이 없다, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 흑갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 매우 작은 노랑 띠가 있으며, 띠의 길이는 작은방패판 길이보다 짧다. 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 중앙 부근까지 황색이다. 작은방패판은 노랑 바탕에 중앙에 넓은 흑갈색 세로띠가 있다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 흑갈색인 중간 및 뒷다리 밑마디와 도래마디를 제외하고 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전연문(pterostigma)부터 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에서 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 연갈색의 띠가 있다. 제1복부등판은 황갈색, 제2등판은 황갈색 바탕에 측면에 1쌍의 짧은 세로띠가 있다. 제3~5등판 중앙에 명확한 세로띠가 있으며; 등판 3은 측면에 넓은 흑갈색 부위가, 제4등판 측면 전반부에만 흑갈색 부위가 있다. 암컷의 산란통은 흑갈색이며 제5등판보다 약간 길다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 피망고추, 굴류, 망고, 파파야를 비롯한 다음 과들을 광범위하게 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Combretaceae, Fabaceae, Lauraceae, Moraceae, Myrtaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Solanaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 피망고추, 굴류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 통가, 뉴칼레도니아.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 1개의 바코드를 찾을 수 있으며, 이는 Armstrong & Ball (2005)이 출판한 염기서열이다. 저자들의 전문성으로 미루어 시료의 정확한 동정을 신뢰한다면, 이 바코드와 비교하여 0.5%이내 일치하는 것을 동정 기준으로 삼을 수 있을 것이다. 바코드 계통분석에 따르면, *B. facialis*는 *B. passiflorae*와 근연종으로 보인다. 이 두 종은 외형적으로는 판이하게 구분되는 편이나 얼굴에 점이 없는 특징을 공유하고 있다.



그림 11. 통가과실파리(*Bactrocera facialis*) 수컷(윗줄) 및 암컷(아랫줄). Color drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

## 12. *Bactrocera (Bactrocera) frauenfeldi* (Schiner, 1868)

국명: 망고과실파리(신칭)

영명: Mango fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus frauenfeldi* Schiner 1868: 262. — Solomon Is. Stuart I. LT ♀ NMW.

Lectotype designated by Hardy 1968: 138.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 16위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 파푸아뉴기니 등지에 분포하며 호주로 도입된 바 있다. 20개가 넘는 식물의 과를 가해하는 다식성 해충이며, 국내 작물로는 귤류 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종의 날개 무늬는 독특하게 3개의 띠가 사선으로 나란히 있으며, 기부의 2개는 갈색, 말단부의 것은 연노란색이다. 이 문양은 *B. albistrigata* 및 *B. trilineola*와 매우 비슷하나, *B. frauenfeldi*의 어깨돌기 앞부분이 흑갈색이며, 다리에 갈색 무늬가 있는 점으로 쉽게 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 흑갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 황색 세로띠가 작은 방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 어깨돌기 상반부는 흑갈색이며 하반부는 갈색이다. 작은방패판은 앞쪽으로 흑갈색이며 측면 또는 측면과 후면이 황색인 개체들이 많다. 날개 앞쪽에서 측판 중앙까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색 바탕에 중간다리 넓적다리마디, 뒷다리 넓적다리마디와 종아리마디가 갈색을 띤다. 날개는 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전연문(pterostigma)부터 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에서 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다 또한 전연문(pterostigma) 아래부터 R-M맥과 R<sub>4+5</sub>맥을 따라 사선의 갈색무늬가 있다. 제1복부등판은 흑갈색, 제2등판은 황갈색 바탕에 전단에 넓은 흑갈색 가로띠와, 중앙에 좁은 흑갈색 세로띠가 있다. 제3~5등판은 흑갈색 바탕에 1쌍의 넓은 황갈색 세로띠가 중앙으로 나있다. 암컷의 산란통은 흑갈색이며 제5등판보다 약간 짧다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 203쪽, Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** Anacardiaceae, Annonaceae, Caricaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Ebenaceae, Euphorbiaceae, Lecythydaceae, Loganiaceae, Malpighiaceae, Meliaceae, Moraceae, Musaceae, Myrtaceae, Olacaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sapotaceae, Solanaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 파푸아뉴기니, 비스마르크군도, 솔로몬군도 등지에 널리 분포하며, 호주 북부 (n. QLD)에 침입 및 정착한 바 있다.

**유인제:** Cue-lure, raspberry ketone.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 8개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 1% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다. 바코드 계통분석에 따르면, 형태적으로 유사한 *B. albistrigata*와 근연종으로 보인다.



그림 12. 망고과실파리(*Bactrocera frauenfeldi*) 수컷(윗줄) 및 암컷(2~3줄). Color drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

13. *Bactrocera (Bactrocera) halfordiae* (Tryon, 1927)

할포디아과실파리(신칭)

영명: Halfordia fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus halfordiae* Tryon 1927: 190. — Australia. Queensland: Southport.

LT ♀ QMBA. Lectotype designated by Drew 1989: 73.

*Chaetodacus gurneyi* Perkins 1934: 41. — Australia. New SouthWales: Narara;

Tooloom; Acacia Creek; Queensland: Brisbane. ST ♂♀ UQIC.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 45위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 호주 서부에 분포하며 귤류 등을 가해하는 협식성 해충이다.

**진단형질:** 이 종은 다리를 제외한 몸체가 거의 적갈색인 점으로 구분한다. 또한 방패판의 좁은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 앞쪽에서 상당히 이격되어 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없는 점으로도 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이며 황색의 다리와 띠를 제외한 몸 전체가 적갈색이다. 얼굴은 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 좁은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판은 적갈색이나 어깨돌기와 날개 앞쪽에서 측면 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색 띠가 있다. 복부 역시 적갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 귤류(*Citrus* spp.), loquat, feijoa, Brazilian cherry

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 등. 협식성이므로 다른 작물의 위해 가능성도 있다.

**분포:** 호주 (QLD, NSW).

**유인제:** Methyl isoeugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 수록된 바코드가 없다.

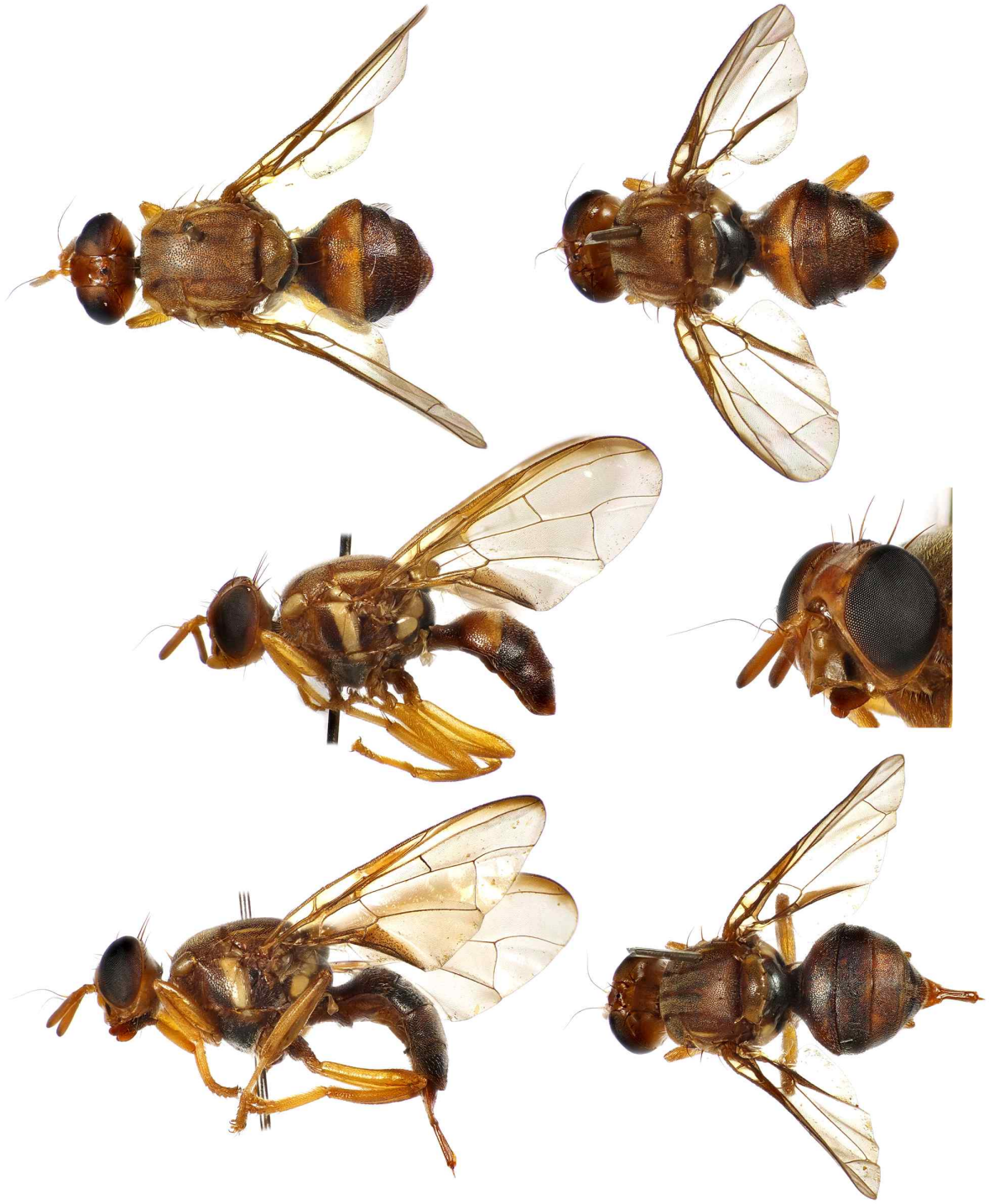


그림 13. 할포디아과실파리(*Bactrocera halfordiae*) 수컷(1~2줄)과 암컷(아랫줄). Photos by H.-Y. Han.

#### 14. *Bactrocera (Bactrocera) hyalina* (Shiraki, 1933)

국명: 녹나무과실파리

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus hyalinus* Shiraki 1933: 62. — Japan. Kyushu: Kagoshima. Holotype ♀ NTU.

*Strumeta asatoi* Shiraki 1968: 26. — Japan. Ryukyu Is. Holotype ♀ USNM.

**검역해충 등급제안:** 국내서식 비해충 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 한국, 일본, 중국 남부, 동남아 등지에 분포하며, 한국분포(제주도)는 최근에 확인되었다(Han et al., 2017). 한국에서는 유생기에 녹나무류 열매를 섭식하는 비해충이나, 간혹 녹나무류 근처에 설치된 과실파리의 예찰트랩에 들어올 때가 있다.

**진단형질:** 이 종은 방패판의 바탕이 흑색이며 가늘고 짧은 1쌍의 황색 세로띠만을 가지며, 작은방패판의 말단부가 흑색이며, 날개가 전체적으로 투명하게 보이는 점으로 쉽게 구분이 가능하다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 전체적으로 흑색이며, 측면에 1쌍의 가늘고 짧은 황색 띠가 있으며 횡단봉합선에서 시작하여 작은방패판에 이르기 1/2 지점에서 끝난다. 방패판 중앙부에는 띠가 없다. 작은방패판은 황색 바탕에 기부와 말단부가 흑색이다. 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 옅은 갈색이나, 중간/뒷다리의 밀마디와 도래마디, 각 넓적다리마디의 말단부, 뒷다리 종아리마디의 기부와 말단부 쪽이 약간 어둡다. 날개는 언뜻 보기에 전체가 투명한 것처럼 보이나, 전연문(pterostigma) 및 R<sub>2+3</sub>맥과 R<sub>4+5</sub>맥의 각 양쪽 전단부에 가늘게 연황색 부분들이 있다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 매우 좁은 연황색 띠를 찾아볼 수 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕이며, 제1, 2등판은 각각 전단부에 흑색의 넓은 가로띠가 있다. 제3등판의 흑색 가로띠는 양옆으로 넓어져 있고 중앙에는 세로띠가 제4-5등판으로 이어져 T-무늬를 형성한다. 제4등판의 양 옆에는 넓은 흑색 반문이 있다. 산란통은 황갈색이며 제5등판보다 약간 길다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 주로 녹나무과 식물의 열매를 가해함 - *Cinnamomum camphora*, *C. insularimontanum*, *Persea thunbergii*; Liang et al. (1993) - *Litsia verticillata*. 한 건은 물푸레나무과에서 기록됨 (*Osmanthus insularis* - Drew & Romig, 2013).

**가해 가능한 국내작물:** 제주도에서 자생하거나 조경수로 쓰이는 녹나무류의 열매를 가해하나 경제적인 피해는 미미한 것으로 사료된다.

**분포:** 한국(제주도), 일본(혼슈 이남), 중국(광둥), 대만, 태국.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2010년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 입력되어있지 않다.



그림 14. 녹나무과실파리(*Bactrocera hyalina*) 암컷 및 수컷. Photos by H.-Y. Han.



15. *Bactrocera (Bactrocera) kirki* (Froggatt, 1911)

국명: 키르크과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus kirki* Froggatt 1911: 871. — bred from Island fruit imported into New Zealand. LT ♀ NSW. Lectotype designated by Drew 1989: 140.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 26위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 사모아, 통가, 타히티 등 남태평양의 섬들에 분포하는 심각한 다식성 해충으로 국내 작물로는 귤류 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 날개가 거의 투명하게 보이나, 자세히 보면 전연문(pterostigma)에서 R<sub>4+5</sub>맥까지 매우 연한 황갈색 가로띠가 있다. 복부등판에 흑갈색 바탕에 1쌍의 넓은 황갈색 세로띠가 중앙으로 나있는 점으로도 구분될 수 있다. 이 복부의 무늬는 *B. frauenfeldi*와 비슷하나, 날개 무늬로 쉽게 구분 가능하다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 검정색이며 세로띠가 없다. 작은방패판도 검정색이나 양 측면은 황갈색이다. 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 황갈색 바탕에 종아리마디들과 일부 발목마디가 갈색을 띤다. 날개는 거의 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전연문(pterostigma)부터 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에서 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 제1복부등판은 흑갈색, 제2등판 이후에는 흑갈색 바탕에 1쌍의 넓은 황갈색 세로띠가 중앙으로 나있다. 암컷의 산란통은 흑갈색이며 제5등판 길이와 비슷하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 망고, 아보카도, 구아바, 귤류 등을 포함 다음 과들을 광범위하게 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Bromeliaceae, Combretaceae, Fabaceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rutaceae, Solanaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 사모아, 통가 등 남태평양 섬들에 광범위하게 분포.

**유인제:** Zingerone에 강하게 유인되며, cue-lure, raspberry ketone에도 유인됨.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 6개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 다른 종들과는 명확히 구분되므로 쉽게 동정이 가능하다.



그림 15. 키르크과실파리(*Bactrocera kirki*) 암컷(1~2줄)과 수컷(아랫줄). Photos by H.-Y. Han.

16. *Bactrocera (Bactrocera) kraussi* (Hardy, 1951)

국명: 크라우스과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus kraussi* Hardy 1951: 156. — Australia. Queensland: Deeral. HT ♂  
USNM.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 금지해충 제2급 23위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 호주 동북부에 분포하는 주요 다식성 해충이다. 국내 작물로는 귤류를 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 *B. tryoni* 및 그 근연종들과 비슷하나, 날개의 c, sc 맥실에 미모(microtrichiae)가 없으며 방패판의 황색 옆줄이 길고, 복부의 마지막 등판에 1쌍의 등근 갈색 점이 있는 것으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이며, 뒷다리 종아리마디가 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에 이르기 2/5쯤 전에 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다. 복부등판들은 적갈색이며, 제3~5등판 중앙에 흑색의 세로띠가 없으나, 측면에는 넓은 세로띠가 있다. 복부의 마지막 등판에 1쌍의 등근 갈색 점이 특이하다. 암컷의 산란통은 복부와 동일하게 적황색이며 제5등판보다 길다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 귤류, 바나나, 망고, 구아바의 해충으로 알려져 있으며, 다음과 같은 다양한 과를 가해한 기록이 있다 - Agavaceae, Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Cunoniaceae, Davidsoniaceae, Elaeocarpaceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Icacinaceae, Lauraceae, Lecythidaceae, Loganiaceae, Malpighiaceae, Meliaceae, Menispermaceae, Moraceae, Musaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Solanaceae, Thymeliaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 호주 (QLD).

**유인제:** Methyl isoeugenol에 강하게 유인되며, cue-lure에도 유인됨.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 3개의 바코드를 찾을 수 있으며, 이들이 1개체의 *B. trivialis*와 함께 클러스터를 형성한다. 그러나 BOLD에 수록된 다른 2개체의 *B. trivialis*는 독립적인 클러스터를 형성하므로 *B. kraussi*와 유사한 염기서열의 *B. trivialis*는 *B. kraussi*의 오동정일 가능성이 크다.

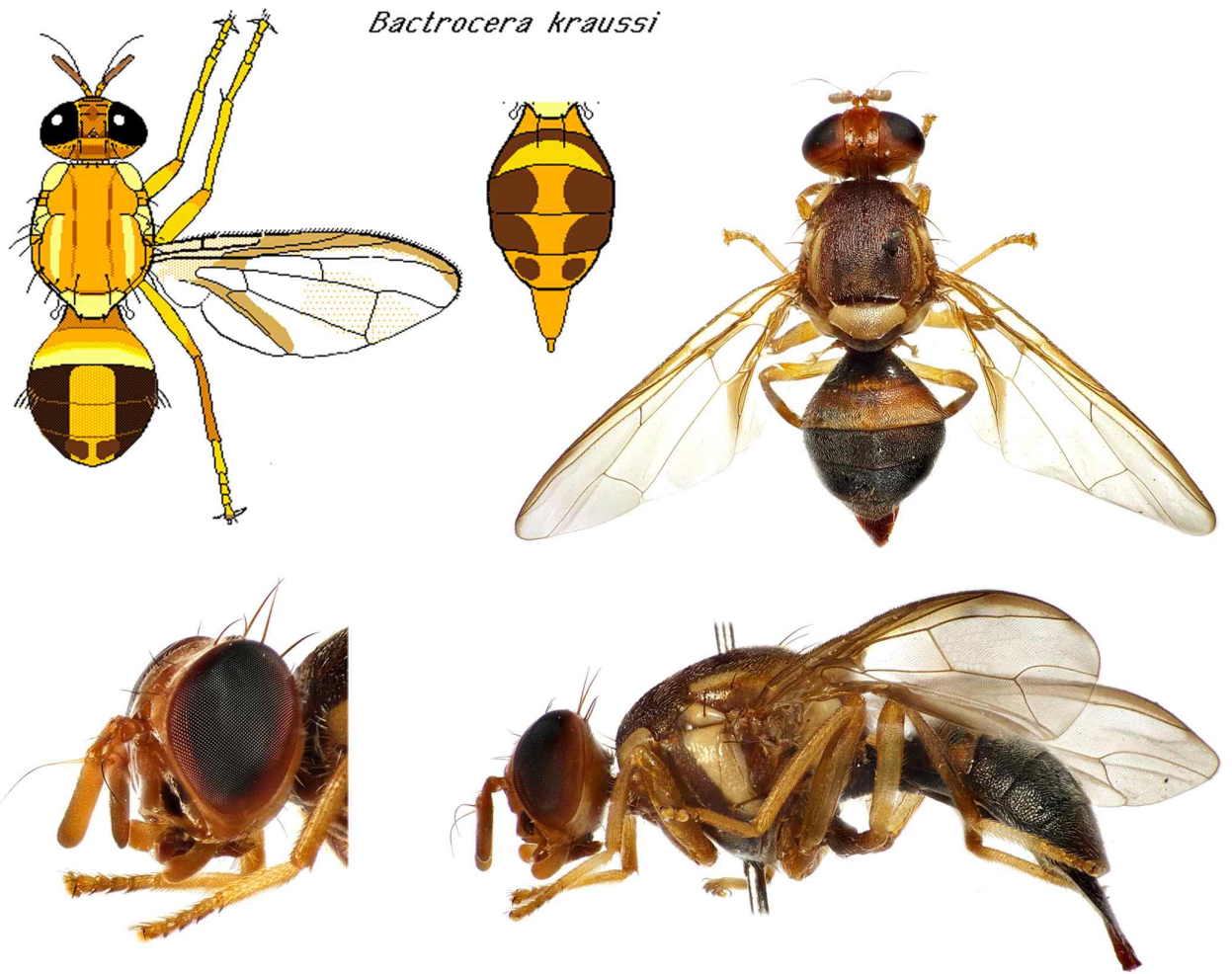


그림 16. 크라우스과실파리(*Bactrocera kraussi*). 그림(수컷 및 암컷). 사진은 암컷. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

17. *Bactrocera (Bactrocera) latifrons* (Hendel, 1915)

국명: 남방고추과실파리(신칭)

영명: Solanum fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus latifrons* Hendel 1915: 425. — Taiwan. Tainan. Lectotype ♂ BMNH. Lectotype designated by White & Liquido 1995: 251. Suspension of I.C.Z.N. rules required to validate usage.

*Dacus parvulus* Hendel 1912: 21. — Taiwan. Kanshirei. Syntype ♂♀ DEI, NMW. In interest of stability, authors reject this valid prior name; see White & Liquido (1995); type data (Hardy 1968: 113).

*Chaetodacus antennalis* Shiraki 1933: 56. — Taiwan. Tainan. Syntype ♂♀ NTU.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 9위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 동양구에 널리 분포하는 협식성 해충이나, 국내 주요 작물인 고추, 가지, 토마토를 가해하므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 *B. musae* 종군 및 *B. dorsalis* 종군의 과실파리들과 유사하나 전체적으로 황갈색인 복부등판과 암컷의 산란관 말단부가 3부분으로 갈라진 것으로 구분 가능하다. 특히 *B. bancroftii*와 가장 비슷하며, 이 종과는 날개 전단의 가로무늬 말단부가 부풀어 있는 점으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 대부분 흑색이며 측면과 후면에 갈색부분이 섞여있다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측면 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리의 넓적다리마디들은 모두 황색-황갈색이며 점이 없으며, 뒷다리 종아리마디는 어두운 색을 띠는 경우가 많다. 날개는 투명하며 좁은 황갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥을 지나 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 약간 확장된다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 황갈색 띠가 있다. 복부등판들과 산란통은 전체적으로 황갈색이다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 210쪽 참조.

**숙주범위:** 가지과인 고추, 가지, 토마토의 주요 해충으로 알려져 있으나, 다음 과의 다양한 식물들을 가해한 기록이 있다 - Lythraceae, Myrtaceae, Oleaceae, Passifloraceae, Punicaceae, Rhamnaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Solanaceae, Verbenaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 고추, 가지, 토마토 등의 가지과 작물.

**분포:** 인도, 스리랑카, 파키스탄에서 동남아시아, 중국 남부, 대만과 일본까지 분포. 하와이 탄자니아에 정착.

**유인제:** Alpha-ionol과 cade oil에 어느 정도 유인이 됨.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 100개 이상의 바코드가 입력되어 있다. 바코드 분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 1% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 가능한 것으로 사료된다. 바코드 계통 분석에 따르면 *B. bryoniae*의 근연종으로 보인다.

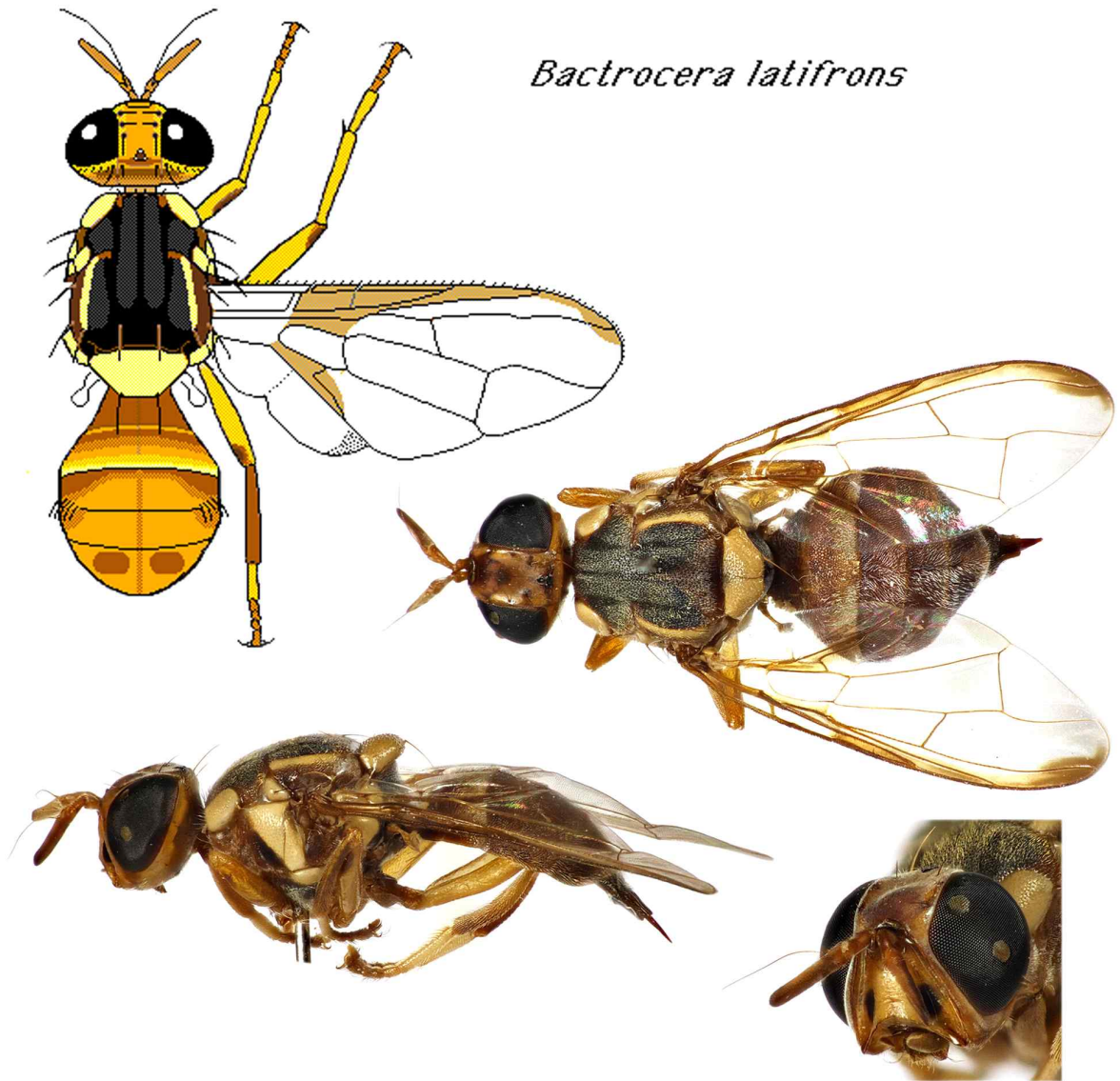


그림 17. 남방고추과실파리(*Bactrocera latifrons*, 수컷 및 암컷). Drawing (male) courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos (female) by H.-Y. Han.

18. *Bactrocera (Bactrocera) melanotus* (Coquillett, 1909)

국명: 쿡제도과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus melanotus* Coquillett 1909: 13. — Cook Is. LT ♂ USNM. Lectotype designated by Drew 1989: 144.

*Dacus rarotongae* Froggatt 1911: 872. — Cook Is. Rarotonga. ST ♂♀ NSW?

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제2급 28위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 남태평양의 쿡제도에만 분포하며, 파파야와 굴류를 가해하는 심각한 해충이다. 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 비교적 독특하게 생긴 *Bactrocera*로서, 어깨돌기와 중앙측판세로띠 및 후측판세로띠는 황백색이나, 작은방패판을 포함한 가슴의 대부분, 복부 등은 흑갈색이다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색이며 하단부의 점은 없거나 희미하다, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 대부분 흑갈색이며 띠가 없다. 어깨돌기와 중앙측판세로띠 및 후측판세로띠는 황백색이나, 작은방패판을 포함한 가슴의 대부분은 흑갈색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 어두운 색을 띠는 경우가 많다. 날개는 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥을 지나 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 약간 확장된다. bcu맥실은 황갈색이다. 복부등판들과 산란통은 전체적으로 흑갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 굴류, 구아바, 망고, 파파야를 비롯한 다음 과들을 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Caricaceae, Combretaceae, Fabaceae, Myrtaceae, Rutaceae, Sapindaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 굴류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 쿡제도에 한정되어 분포한다.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 3개의 바코드가 입력되어 있다. 바코드 분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 0.5% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 가능한 것으로 사료된다.



그림 18. 쿡제도과실파리(*Bactrocera melanotus*, 수컷). Drawing (female) courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos (female) by H.-Y. Han.



19. *Bactrocera (Bactrocera) musae* (Tryon, 1927)

국명: 바나나과실파리(신칭)

영명: Banana fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus musae* Tryon 1927: 197. — Australia. Queensland: Meringa. LT ♀ QMBA. Lectotype designated by Drew 1989: 93.

*Chaetodacus musae* var. *dorsopicta* Tryon 1927: 198. — not stated [probably Australia. Queensland]. T AQMBA.

*Dacus nigrofasciatus* Tryon 1927: 197. — Nomen nudum. Fiji. T A NSWA? Published in synonymy, not subsequently validated by usage. Attributed to Froggatt.

*Chaetodacus tryoni* var. *musa* Tryon 1927: 187. — Nomen nudum. Australia. Geraldton; Gympie; Buderim Mountain; & Stanthorpe Districts. ST A QMBA. Published without diagnosis or indication. See Drew (1989: 93).

*Chaetodacus musae* var. *dorso-picta* Tryon 1927: 198. — incosp. *dorsopicta* Tryon.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 52위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 바나나의 주요 해충이나, 9개 식물과의 다양한 종들을 가해한 기록이 있어 주의가 요망된다.

**진단형질:** 이 종은 *B. musae* 종군 및 *B. dorsalis* 종군의 과실파리들과 유사하며, 체색과 패턴에 변이가 심하다. 특히 *B. bancroftii*와 유사하나, 작은방패판이 전체적으로 노란색이며, 날개 전단의 갈색 띠가 더 넓은 것으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 대부분 흑색인 것들도 있으나, 측면과 후면에 갈색부분이 섞여있거나, 전체적으로 갈색인 개체들도 있다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 날개는 투명하며 넓은 황갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥을 지나 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 황갈색 띠가 있다. 복부 무늬는 변이가 심하며, 제1등판은 갈색, 제2등판은 중앙에 좁은 갈색 가로띠가 있거나 없다, 수컷 제3~5등판에는 가는 갈색 T-무늬가 있거나, 부분적으로 없거나, 전혀 없는 개체까지 변이가 심하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 바나나의 주요해충으로서 다음 9개 식물과를 가해한 기록이 있다 - Capparaceae, Caricaceae, Musaceae, Myrtaceae, Olacaceae, Passifloraceae, Rubiaceae, Rutaceae, Solanaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 노지재배작물의 해충으로 알려져 있지는 않으나, 협식성이므로 다른 작물의 위해 가능성도 있다.

**분포:** 뉴기니, 호주(Qld.), 비스마르크제도, 솔로몬제도.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 33개의 바코드가 입력되어 있다. 바코드 분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 1% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 가능한 것으로 사료된다.

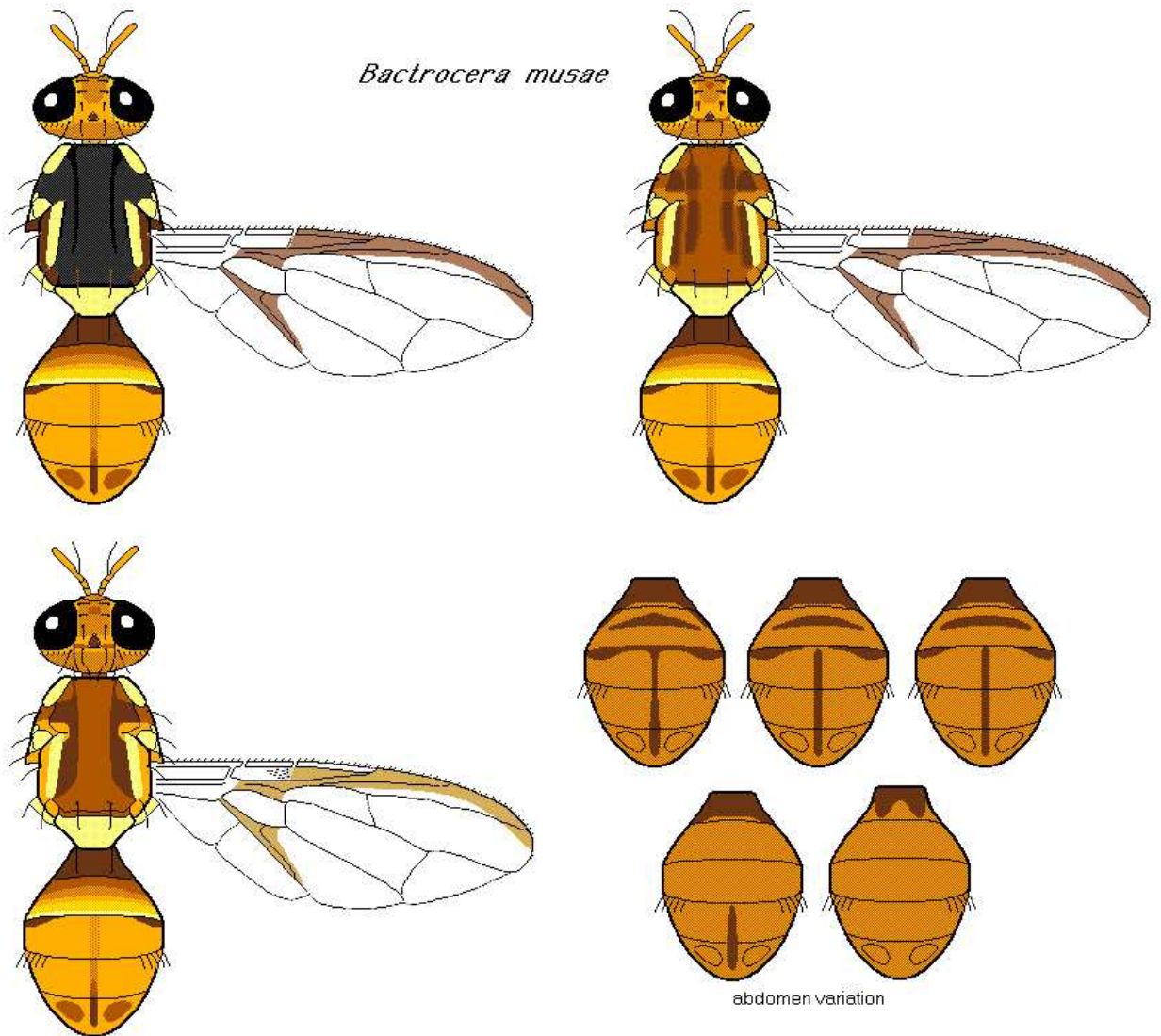


그림 19. 바나나과실파리(*Bactrocera musae* 수컷, 다양한 변이형들). Drawings courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).

## 20. *Bactrocera (Bactrocera) neohumeralis* (Hardy, 1951)

국명: 작은퀸즐랜드과실파리

영명: Lesser Queensland fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus tryoni* var. *neohumeralis* Hardy 1951: 169. — New name for *humeralis* Perkins 1934.

*Chaetodacus humeralis* Perkins 1934: 42. — Australia. Queensland: Cairns. Lectotype ♀ QMBA. Preoccupied by Bezzi (1915); Lectotype designated by Drew 1989: 115.

*Chaetodacus tryoni* var. *sarcocephali*: Tryon 1927: 188. — misidentification in part, see Drew 1989: 114.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제1급 8위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 호주, 파푸아뉴기니에 분포하며 매우 다양한 과를 가해하는 다식성 해충이다. 국내 작물로는 귤류, 복숭아, 자두, 살구, 배, 대추 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** *Bactrocera neohumeralis*는 계통적으로 *B. tryoni* 및 *B. aquilonis*와 매우 유사하나, 이들과는 어깨돌기가 방패판과 비슷하게 어두운 색인 점으로 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이며, 뒷다리 종아리마디가 짙은 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에 이르기 2/5쯤 전에 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다. 제1+2복부등판은 황갈색에서 적갈색이며, 제3등판은 일반적으로 흑색이며, 제4~5등판도 거의 흑색이나 중앙부의 좁은 흑색의 세로띠 양쪽에 좁은 적갈색 부분이 있다. 암컷의 산란통은 복부와 동일하게 적황색이며 제5등판과 길이가 비슷하다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 220쪽 참조.

**숙주범위:** 호주와 파푸아뉴기니에서 매우 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충 - Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Basellaceae, Cactaceae, Capparaceae, Caricaceae, Celastraceae, Chrysobalanaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Davidsoniaceae, Ebenaceae, Elaeocarpaceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Hippocraterceae, Lauraceae, Leeaceae, Lecythidaceae, Malpighiaceae, Melastomataceae, Meliaceae, Moraceae, Musaceae, Myrtaceae, Olacaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Piperaceae, Rhamnaceae, Rhizophoraceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Santalaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Smilacaceae, Solanaceae, Verbenaceae, Vitaceae

**가해 가능한 국내작물:** 귤류, 복숭아, 자두, 살구, 배, 대추 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 호주 동부에서 흔한 해충이며 파푸아뉴기니까지 분포한다.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 10개체가 입력되어 있다.

그러나 근연종인 *B. aquilonis*, *B. curvipennis*, *B. erubescens*, *B. tryoni* 등과 바코드로 구분되지 않는다. 이들의 종 문제 해결이 선결되어야 할 상황이다.

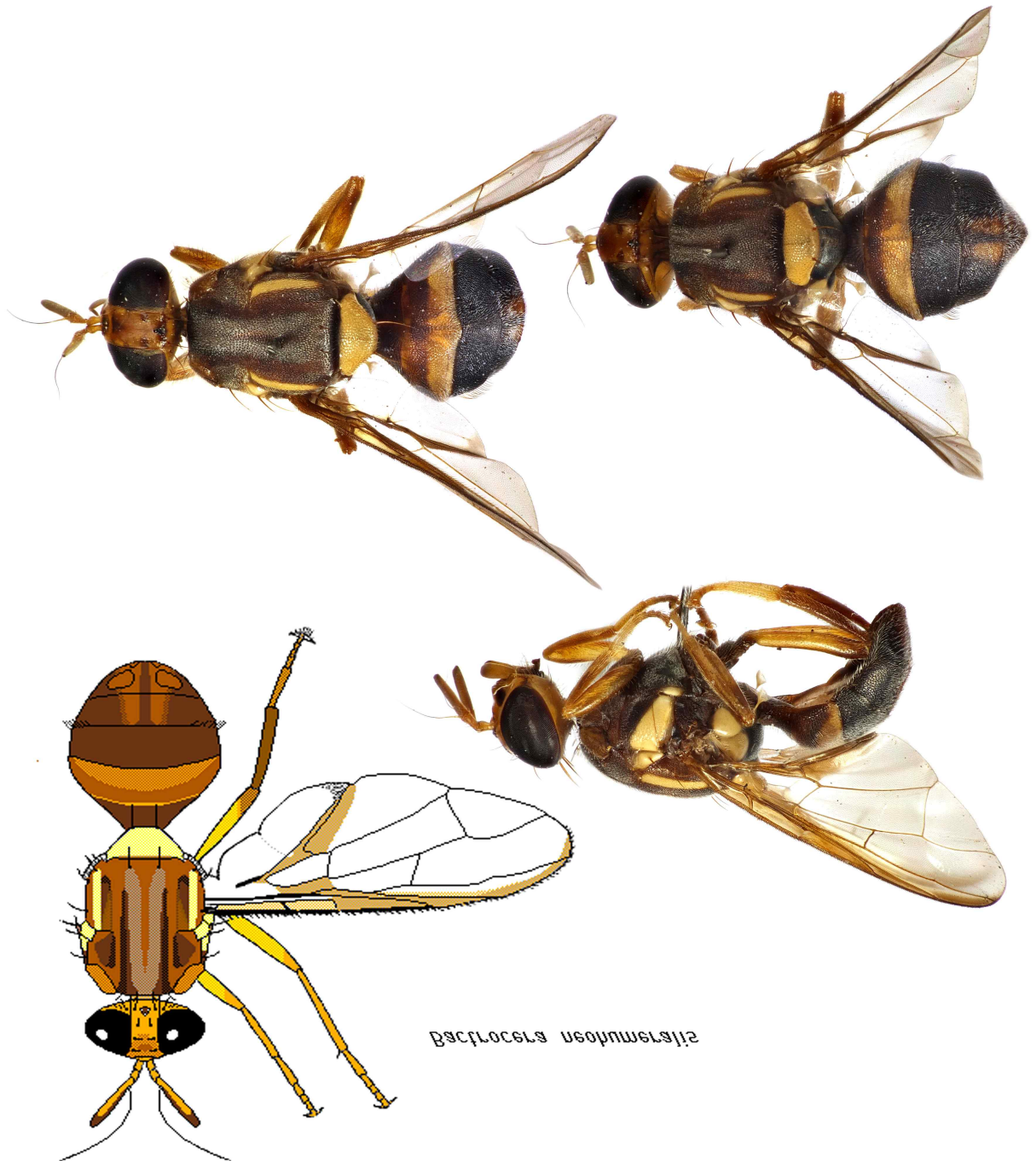


그림 20. 작은퀸즐랜드과실파리(*Bactrocera neohumeralis*) 수컷. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

21. *Bactrocera (Bactrocera) occipitalis* (Bezzi, 1919)

국명: 필리핀과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus ferrugineus* var. *occipitalis* Bezzi 1919: 423. — Philippines. Luzon, Laguna: Los Banos; Mt. Maquiling [Mt. Makiling]; Mt. Banahao; Mindanao, Davao. ST ♂♀ Baker. Lectotype designated by Hardy 1969: 479 invalid, McGregor specimens not ST; ST currently in MCSNM.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 34위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 귤류, 구아바, 망고 등을 가해하는 협식성 해충이다. 한국 재배식물로는 귤류를 가해하므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** *Bactrocera dorsalis* 및 *B. carambolae*와 유사하다. 날개 전단의 띠는 *B. carambolae*와 비슷하게 R<sub>2+3</sub>맥 말단부에서 좁아지지 않으나, *B. dorsalis*와 비슷하게 이 띠의 말단부가 넓어지지 않는다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 색깔은 흑색이며, 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측면 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 넓적다리마디들은 모두 황색-황갈색이며 점이 없다. 앞다리 종아리마디는 옅은 갈색이며 뒷다리 종아리마디는 짙은 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 적황색 바탕색을 가지며, 제3~5등판은 각각 중앙부에는 상대적으로 넓은 흑색의 세로띠와, 제3~4등판 측면에는 넓은 세로띠가 있으며, 제3등판의 띠들은 앞쪽에서 연결되어 있다. 암컷의 산란통은 복부와 동일하게 적황색이며 바로 제5등판과 길이가 비슷하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 귤류, 망고, 구아바를 비롯한 다음 과들을 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Myrtaceae, Rutaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 등. 협식성이므로 다른 작물의 위해 가능성도 있다.

**분포:** 필리핀, 보루네오.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 30개의 바코드가 입력되어 있으며, 모두 다운로드 가능하다. 이들 모두가 바코드 분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루나, *B. dorsalis* 2개, *B. cognata* 2개, *B. makilingensis* 1개가 섞여있다. *B. dorsalis*는 오동정이 확실한 것 같으나, 나머지 2종의 오동정 또는 근연종 여부는 확인할 필요가 있다.

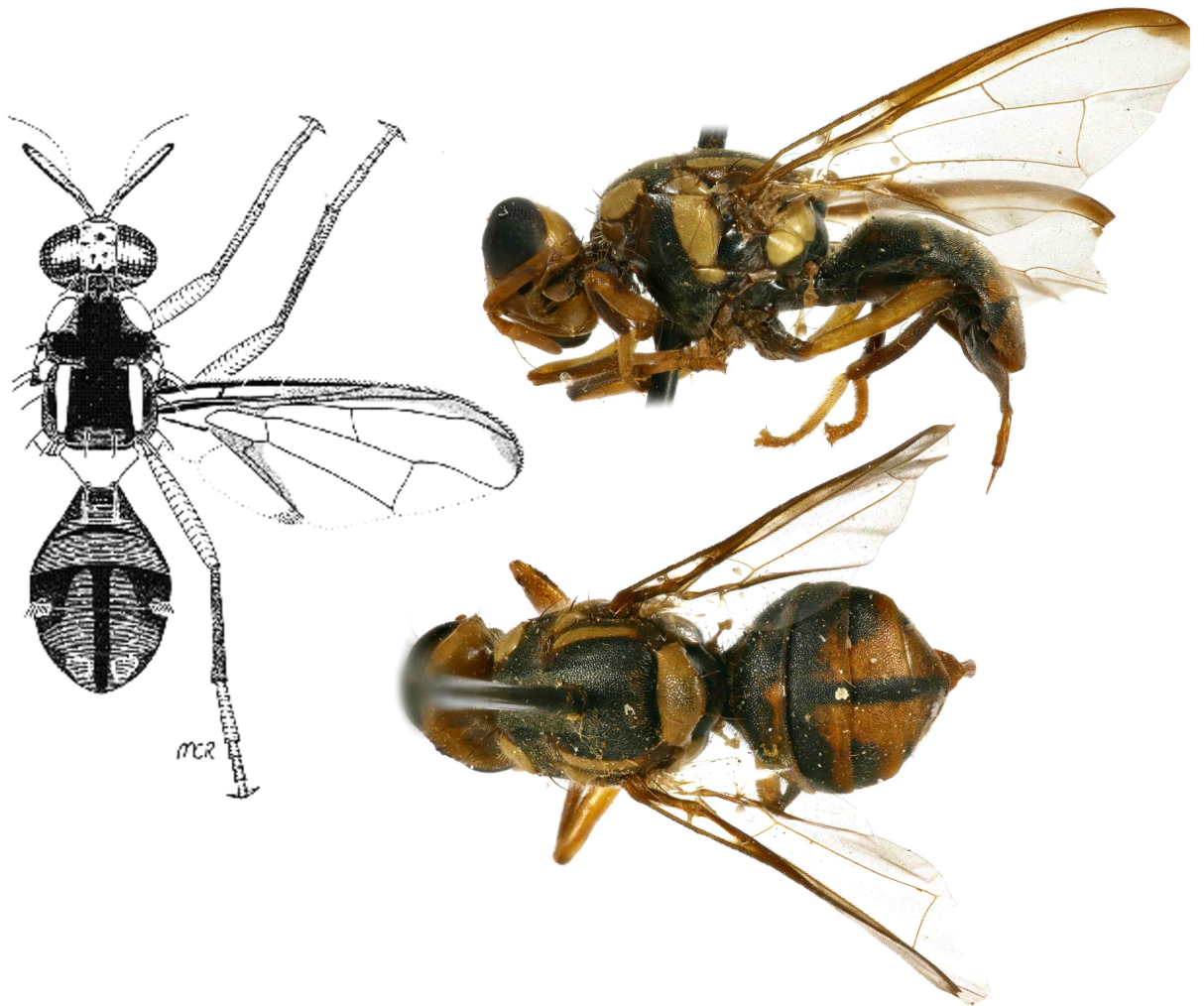


그림 21. 필리핀굴과실파리(*Bactrocera occipitalis*). Drawing (male) courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos (female) by H.-Y. Han.

## 22. *Bactrocera (Bactrocera) passiflorae* (Froggatt, 1911)

국명: 피지과실파리(신칭)

영명: Fijian fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus passiflorae* Froggatt 1911: 870. — Fiji. LT ♂ NSW. Lectotype designated by Drew 1989: 151.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 29위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 캐슈넛, 파파야, 굴류, 가지, 아보카도를 비롯한 많은 숙주식물을 가해하는 주요 해충이다. 피지와 인근 도서에만 분포하나, 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 얼굴에 점이 없고, 가슴과 복부가 대부분 흑색인 점으로 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 소형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황색이며 점이 없으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 전체적으로 흑색이며 작은방패판, 등옆판 후반부, 날개 앞쪽 측판 상단에서 중앙까지, 옆등판은 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이다. 날개는 투명하며, 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 전체적으로 광택이 있는 흑색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 캐슈넛, 그라나딜라, 파파야, 아보카도, 라임, 구아바, 굴류, 가지, 망고, 코코아, 패션프루트 등을 포함하는 28개 과(Leblanc et al., 2012)를 가해한 기록이 있다.

**가해 가능한 국내작물:** 굴류, 가지 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 피지, 통가, 니우에 등지에 분포한다.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 12개의 바코드가 입력되어 있으며, 모두 다운로드 가능하다. 바코드 분석 시 일부 *B. xanthodes* 개체들과 같은 클러스터를 이룬다. 외형적으로 이 두 종은 명확히 구분되며, *B. xanthodes* 개체들이 명확히 2개의 클러스터를 이루므로 분류학적인 문제가 있는 것으로 사료된다.



그림 22. 피지과실파리(*Bactrocera passiflorae*) 수컷. Photos by H.-Y. Han.



### 23. *Bactrocera (Bactrocera) psidii* (Froggatt, 1899)

국명: 남태평양과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Tephritis psidii* Froggatt 1899: 500. — New Caledonia. Noumea. ST ♂♀  
NSWA?

*Dacus ornatissimus* Froggatt 1909: 93. — New Caledonia. ST A NSWA?  
Lectotype designated by Drew 1989: 157 invalid, ex. guava, but ST bred  
from mandarins.

*Dacus virgatus* Coquillett 1909: 13. — Tonga I. HT ♀ USNM.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 27위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 뉴칼레도니아에 분포하며, 많은 작물을 가해하는 심각한 다식성 해충이다, 국내 작물로는 귤류를 가해할 수 있다.

**진단형질:** 얼굴에 점이 작고 흐리거나, 일부 개체에서는 없다. 방패판은 흑색이며, 어깨돌기, 측면 띠가 황색이다. 작은방패판은 검정색 바탕에 측면과 뒷면 가장자리가 넓게 황색인 점이 특이하다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 작고 흐린 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 없는 개체들도 꽤 있다. 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 흑갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판, 날개 앞쪽의 등옆판 후반부 및 그 아래로 측판 중앙까지 황색의 띠를 형성하며, 옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색을 띤다. 날개는 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전연문(pterostigma)부터 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에서 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥 실과 A맥을 따라 넓은 연갈색의 띠가 있다. 복부등판들은 전체적으로 흑갈색이며, 개체에 따라 제2~4등판 중앙부에 1쌍의 갈색 세로띠를 보이는 것들도 있다.

**유충형질:** 자료 없음.

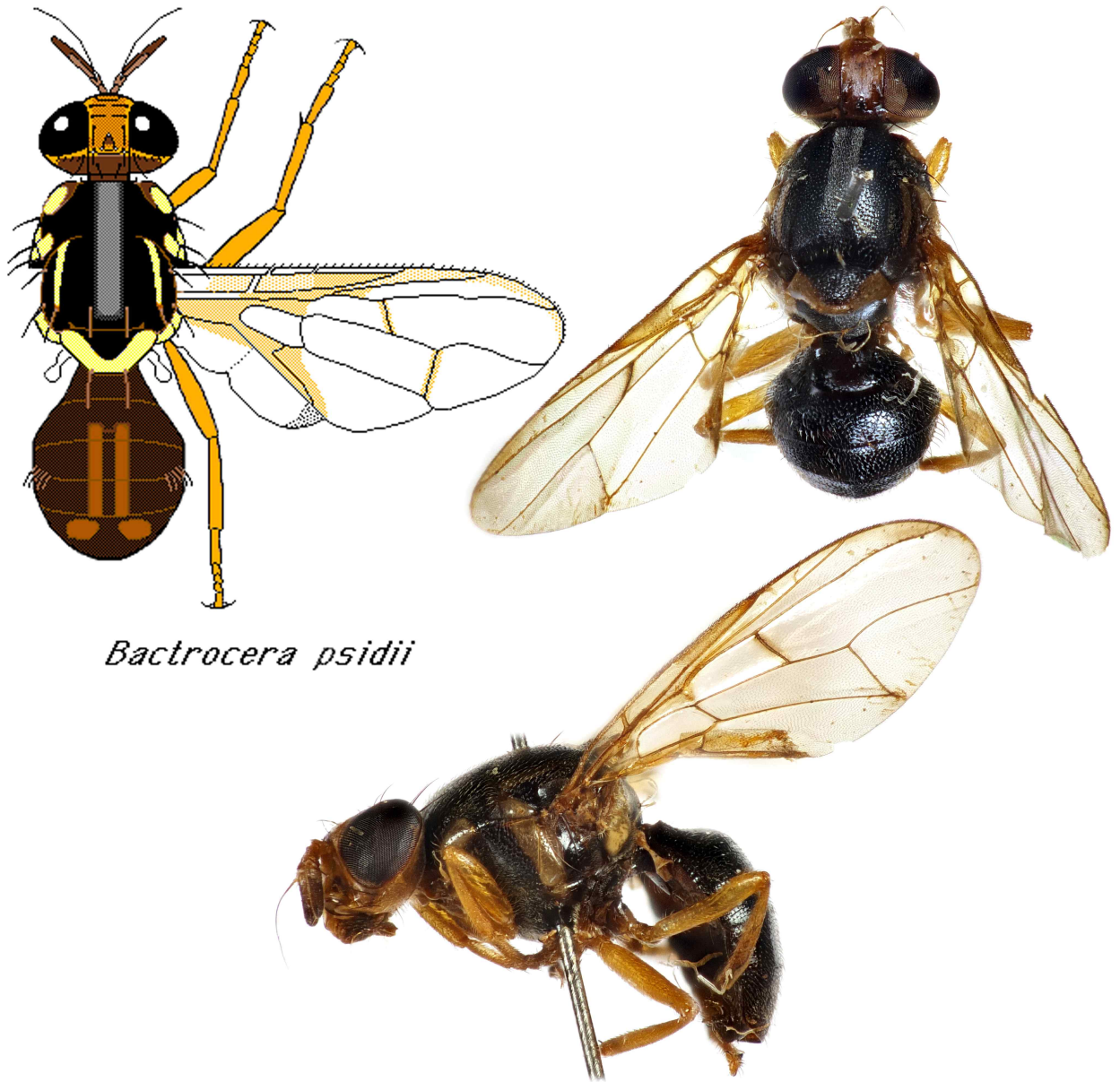
**숙주범위:** 귤류, 구아바, 망고를 비롯한 다음 과들을 가해한 기록이 있다. Euphorbiaceae, Malpighiaceae, Moraceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Punicaceae, Rosaceae, Rutaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 뉴칼레도니아, 통가, 서사모아 등지에 분포.

**유인제:** Cue-lure, raspberry ketone.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 4개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루므로 쉽게 동정이 가능하다.



*Bactrocera psidii*

그림 23. 남태평양과실파리(*Bactrocera psidii*) 수컷. Color drawing, courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

24. *Bactrocera (Bactrocera) pyrifoliae* Drew & Hancock, 1994

국명: 태국복숭아과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Bactrocera pyrifoliae* Drew & Hancock 1994: 55. — Thailand. Chiang Rai:

Wawi. HT ♀ BMNH.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 금지해충 제3급 43위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 베트남과 태국의 복숭아에 서식하며 주로 핵과류를 가해하는 해충이다. 한국에서는 복숭아, 배 등을 가해할 위험이 있다.

**진단형질:** 이 종은 *B. dorsalis* 종군에 속하며, 복부등판3~5가 각각 중앙에 T-자 무늬를 갖는 것으로 구분된다(일부 표본에서는 이 무늬가 축소되어 중앙의 I-자 만 남아 있다).

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 색깔은 흑색에서 갈색 섞여있으며 흑색이 우세하다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 넓적다리마디들은 모두 황색-황갈색이며 앞다리 넓적다리마디 말단부에 갈색 점이 있다. 종아리마디들은 넓적다리마디보다 어두운 색을 띤다. 발목마디는 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥 끝에 이르러 급격히 좁아지며, 다시 약간 넓어져서 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있다. 일반적으로 제3~5등판들이 각각 중앙에 T-자 무늬를 가지나, 일부 표본에서는 이 무늬가 축소되어 중앙의 I-자 만 남아 있다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제5등판보다 길다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 다음 5개 과를 가해한 기록이 있다 - Araliaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae, Polygalaceae, Rosaceae. 특히 장미과(복숭아, 배 등)를 선호하는 것으로 알려져 있음.

**가해 가능한 국내작물:** 복숭아, 배 등. 협식성이므로 다른 작물의 위해 가능성도 있다.

**분포:** 태국, 베트남.

**유인제:** Cue-lure에 약하게 유인됨.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 수록된 바코드가 없다.



그림 24. 태국복숭아과실파리(*Bactrocera pyrifoliae*) 수컷(1~2줄)과 암컷(아랫줄). Photos by H.-Y. Han.

25. *Bactrocera (Bactrocera) trilineola* Drew, 1989

국명: 바누아투과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Bactrocera trilineola* Drew 1989: 78. — n. n. triseriatus Drew 1971.

*Bactrocera distotriseriata* Hardy 1989: 504. — n. n. triseriatus Drew 1971.

*Dacus triseriatus* Drew 1971: 90. — Vanuatu. Efate I.: Vila. HT ♂ QMBA.  
Preocc. Curran 1927.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 30위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 바누아투에 서식하며 망고 등 다양한 작물을 가해하는 주요해충이다. 국내 노지작물의 해충으로 알려져 있지는 않으나, 다식성이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종의 날개 무늬는 3개의 띠가 사선으로 나란히 있는 것으로 *B. albistrigata* 및 *B. frauenfeldi*와 비슷하나, 얼굴이 전체적으로 흑갈색이며, 방패판이 흑갈색, 작은방패판이 흑갈색 바탕에 측면이 황색인 점으로 쉽게 구분 가능하다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 머리는 황갈색 바탕에 얼굴은 거의 전체적으로 흑갈색이며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 흑갈색이며, 황색 띠가 없다. 작은방패판은 흑갈색이며 양쪽 측면이 황색이다. 날개 앞쪽의 등엽판 후반부 및 그 아래로 측판 중앙까지 황색의 띠를 형성하며, 옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이며, 뒷다리 넓적다리마디 말단 1/3과 종아리마디는 갈색을 띤다. 날개는 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전연문(pterostigma)부터 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에서 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다 또한 전연문(pterostigma) 아래부터 R-M맥과 R<sub>4+5</sub>맥을 따라 사선의 갈색무늬가 있다. 제2~5복부등판은 흑갈색 바탕에 1쌍의 넓은 황갈색 세로띠가 중앙으로 나있다. 암컷의 산란통은 흑갈색이며 제5등판보다 약간 짧다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 망고를 비롯하여, 다음 과들을 포함하는 17개 과를 가해한 기록이 있다  
- Anacardiaceae, Annonaceae, Caricaceae, Caesalpinaceae, Combretaceae, Lauraceae, Moraceae, Musaceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Rutaceae, Sapindaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 노지재배작물의 해충으로 알려져 있지는 않으나, 다식성 해충이므로 주의할 필요가 있다.

**분포:** 바누아투에 한정되어 분포한다.

**유인제:** Cue-lure, raspberry ketone.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 4개의 바코드를 찾을 수 있으며 계통분석 시 바코드 거리 2% 이내로 일치하는 클러스터를 이룬다.



그림 25. 바누아투과실파리(*Bactrocera trilineola*)의 수컷. Photos by H.-Y. Han.

26. *Bactrocera (Bactrocera) trivialis* (Drew, 1971)

국명: 뉴기니과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus trivialis* Drew 1971: 93. — Papua New Guinea. Western: Kiwai I. HT ♂ QMBA.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 35위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 뉴기니에 주로 서식하며 10개 식물과를 가해한 기록이 있는 협식성 해충이다. 한국 재배식물로는 고추, 복숭아를 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 *B. tryoni*와 비슷하나, 방패판이 흑색이며, 복부의 등면에 중앙띠가 없고, 제3복부등판이 전체적으로 짙은 갈색인 점으로 구분될 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 흑갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털을 지나서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등옆판 후반부 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 띠를 형성하며, 옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 채색 패턴이 암수가 다르다. 암컷의 넓적다리마디의 경우 앞다리, 중간다리, 뒷다리 말단 1/3이 흑갈색인 반면, 수컷은 전체적으로 황갈이며, 뒷다리 종아리마디만 좀 어둡다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 바로 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색의 띠가 있다. 복부등판들은 적황색에서 짙은 갈색이며 뚜렷한 중앙 세로띠가 없으며, 제3등판이 전체적으로 짙은 갈색이다 암컷의 산란통은 복부에서 볼 수 있는 적황색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 고추, 자몽, 망고, 복숭아, 구아바를 포함하는 다음 과들을 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae, Rosaceae, Rutaceae, Santalaceae, Solanaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 고추, 복숭아 등. 협식성이므로 다른 작물의 위해 가능성도 있다.

**분포:** 인도네시아(Sulawesi), 뉴기니, 호주(Torres St.).

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 4개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루므로 쉽게 동정이 가능하다.



그림 26. 뉴기니과실파리(*Bactrocera trivialis*), 수컷(1~2줄), 암컷(아랫줄). Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.



27. *Bactrocera (Bactrocera) tryoni* (Froggatt, 1897)

국명: 퀸즐랜드과실파리

영명: Queensland fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Tephritis tryoni* Froggatt 1897: 410. — Australia. New South Wales: Tenterfield; Penrith; Richmond R., Wollongbar Farm; & Inverell. Syntype ♂ ♀ NSW?

*Chaetodacus tryoni* var. *juglandis* Tryon 1927: 188. — Australia. Queensland: Stanthorpe. Holotype ♀ QMBA.

*Chaetodacus tryoni* var. *sarcocephali* Tryon 1927: 188. — Australia. Queensland: Brisbane. Lectotype ♀ QMBA. Lectotype designated by Drew 1989: 116.

*Strumeta melas* Perkins & May 1949: 12. — Australia. Queensland: Gayndah. LT ♀ QMBA. Lectotype designated by Drew 1989: 114.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제1급 3위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 많은 국내 작물을 포함하는 다양한 식물종을 가해하는 다식성 해충이다. 원서식지인 호주에서 다양한 지역으로 도입된 기록이 있는 위험한 검역해충이다

**진단형질:** 이 종은 *B. aquilonis*와 매우 비슷하며, Vargas et al. (2015)은 이들이 같은 종일 가능성을 지적하였다. 현재 *B. aquilonis*는 전체적으로 훨씬 밝은 오렌지색을 띠며, 복부에 거의 무늬가 보이지 않는 점으로 구분된다. 또한 근연종인 *B. neohumeralis*는 어깨돌기가 방패판과 비슷하게 어두운 색인 점으로 쉽게 구분할 수 있다. *Bactrocera melas*의 경우 *B. tryoni*의 동물이명으로 확정되어 있다(CABI, Invasive Species Compendium).

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 앞에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등엽판 후반부 및 그 아래로 측면 중앙을 지나 중흉앞하엽판 상부까지 황색의 띠를 형성하며, 후흉상·하엽등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이며, 뒷다리 종아리마디가 짙은 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에 이르기 2/5쯤 전에 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색의 띠가 있다. 복부등판들은 적황색이며, 제3~5등판은 각각 중앙부에는 좁은 흑색의 세로띠와, 측면에는 넓은 세로띠가 있으며 이들은 각 등판의 앞부분에서 연결되어 있다. 암컷의 산란통은 복부와 동일하게 적황색이며 제5등판과 길이가 비슷하다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 231쪽 참조.

**숙주범위:** 호주에서 매우 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충 - Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Cactaceae, Capparaceae, Caricaceae, Celastraceae, Clusiaceae, Combretaceae, Curcubitaceae, Cunoniaceae, Davidsoniaceae, Ebenaceae, Elaeocarpaceae, Ericaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Flacourtiaceae, Goodeniaceae, Hippocraterceae, Juglandaceae, Lauraceae, Lecythidaceae, Loganiaceae, Malpighiaceae, Melastomataceae,

Meliaceae, Moraceae, Musaceae, Myrtaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Punicaceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Santalaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Smilacaceae, Solanaceae, Thymeliaceae, Tiliaceae, Verbenaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 고추, 사과, 오디, 복숭아류, 토마토 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 호주 동부에서 매우 흔한 해충이다. 많은 지역에 침입한 기록이 있으며, 뉴칼레도니아에는 정착되었다.

**유인제:** Cue-lure, raspberry ketone, zingerone.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 100개 이상의 바코드가 입력되어 있으며, 근연종인 *B. aquilonis*, *B. curvipennis*, *B. erubescens*, *B. neohumeralis* 등과 바코드로 구분되지 않는다. 이들의 종 문제 해결이 선결되어야 할 상황이다.



그림 27. 퀸즐랜드과실파리(*Bactrocera tryoni*), 수컷(1~2줄) 및 암컷(아랫줄). Photos by H.-Y. Han.

28. *Bactrocera (Bactrocera) tuberculata* (Bezzi, 1916)

국명: 중국망고과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus tuberculatus* Bezzi 1916: 106. — Burma. Shan: Taung-gyi, 4000 ft. or Myitkyima. HT ♂ BMNH.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 58위 — **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 중국남부와 버마에 분포하며 8개 식물과를 가해한 기록이 있는 협식성 해충이다. 주로 망고와 파파야의 중요성이 비교적 적은 해충으로 알려져 있다.

**진단형질:** 이 종은 *B. correcta* 및 *B. zonata*와 비슷하나, 날개 전단의 띠가 매우 불완전하여 전연문(pterostigma) 말단에서 끝나며 R<sub>4+5</sub>맥 양쪽에서 좁고 짧고 희미하게 나타나는 것으로 쉽게 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판의 배경 색깔은 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 방패판은 대체적으로 흑갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은 방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은 방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등열판 후반부 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하열판 상부까지 황색의 띠를 형성하며, 후흉상·하열등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색이다. 날개는 투명하며, 좁은 날개 전단의 띠가 매우 불완전하여 전연문(pterostigma) 말단에서 끝나며 R<sub>4+5</sub>맥 양쪽에서 좁고 짧고 희미하게 다시 나타난다. bcu맥실은 연한 황갈색이며, A<sub>1</sub>+Cu<sub>1</sub>맥을 따라 띠가 없다. 복부등판들은 흑갈색이 우세하며 제1등판은 뒤쪽으로 좁게, 제2등판은 뒤쪽 1/2부분으로 넓게 황색 가로띠가 있다. 암컷의 산란통은 황갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

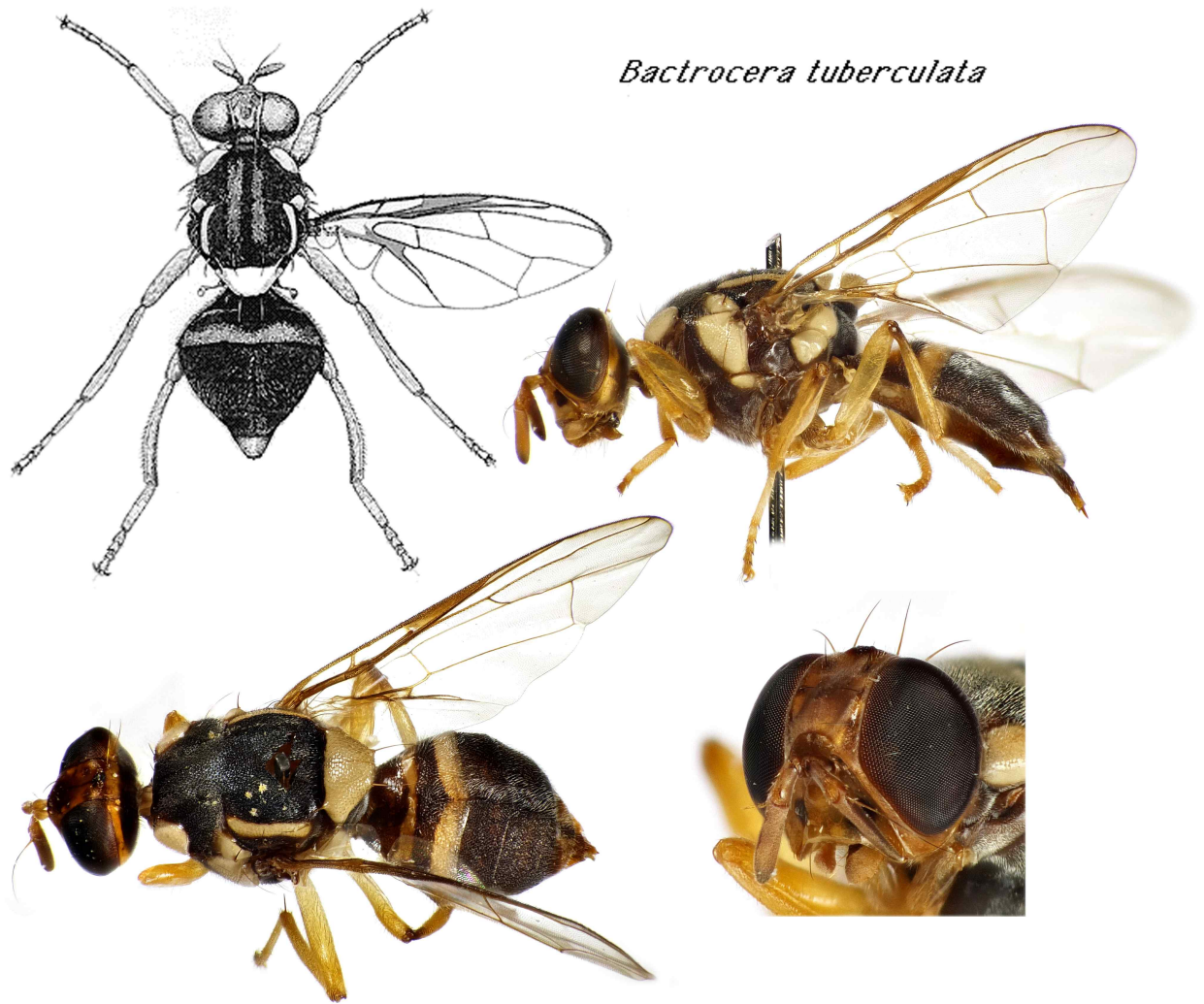
**숙주범위:** 망고, 파파야를 포함하는 다음 8개 식물과. Lecythidaceae; Myrtaceae; Polygalaceae; Rosaceae; Sapotaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 노지작물을 가해한 기록이 없으나, 8개과 식물을 가해한 기록이 있으므로 주의할 필요가 있다.

**분포:** 중국(유난성), 버마, 태국, 베트남.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 15개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 명확한 동정이 가능하다.



*Bactrocera tuberculata*

그림 28. 중국망고과실파리(*Bactrocera tuberculata*) 암컷. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

29. *Bactrocera (Bactrocera) zonata* (Saunders, 1842)

국명: 복숭아과실파리

영명: Peach fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dasyneura zonatus* Saunders 1842: 61. — Central India. T A UMO?. Type depository mis-stated by Hardy 1973: 54, no Syntype in BMNH.

*Bactrocera maculigera* Doleschall 1858: 122. — Indonesia. Maluku: Amboina [Ambon I.]. T A ZMHU. Also possible Syntype in NMW (Froggatt 1909: 94).

*Rivellia persicae* Bigot 1890: 192. — India. [Bihar: Chota Nagpur, Ranchi]. Syntype ♂♀ ZSI?. Type data (Cotes 1890: 195, Bezzi 1916: 106); also possibly Syntype in UMO.

*Dacus ferrugineus* var. *mangiferae* Cotes 1893: 17. — India. Bihar: Tirhoot. Lectotype ♀ ZS?. Lectotype designated by Drew & Hancock 1994: 20, female in Cotes' figure; type data (Bezzi 1913: 75).

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 5위 - **기존등급:** 금지급

**등급분류 근거:** 인도에서 베트남까지 광범위하게 분포하며, 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충이다. 지역에 따라서는 오리엔탈과실파리보다 해충성이 큰 곳도 있다. 국내 작물로는 귤류와 복숭아 등이 위험하며, 사과, 토마토, 가지, 감자도 가해한 외국의 사례가 있다.

**진단형질:** 복숭아과실파리는 언뜻 보기에 퀸즐랜드과실파리(*B. tryoni*)와 비슷하나 날개의 전단의 띠가 날개 말단부 직전에 끊어져 있는 것으로 쉽게 구분할 수 있다. 이런 날개 무늬는 구아바과실파리(*B. correcta*)도 가지고 있으나, 이 종은 방패판이 흑색이며 복부에 뚜렷한 T-무늬가 있는 것으로 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 방패판은 전체적으로 흑갈색이며, 횡단융합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 넓은 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며 중앙에는 황색 띠가 없다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등옆판 후반부 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 띠를 형성하며, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 대부분 황갈색이며, 넓적다리마디의 말단부와 뒷다리 종아리마디의 기부 및 말단부 1/3 정도가 짙은 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥말단부에서 끝나며, R<sub>4+5</sub>맥 말단부에 작은 흑갈색 점이 있다. 즉 날개 전단의 띠가 말단부 직전에 끊어져 있다고도 기술할 수 있다. 추가로 bcu맥실과 과 A맥을 따라 짙은 띠가 형성되지는 않으나, bcu맥실은 옅은 황색이다. 복부등판들은 적갈색이며, 제 3~5등판에 가늘고 뚜렷하지 않은 T-자의 흑갈색 무늬가 있는데, 대부분 중앙부에서 끊어져 있다. 암컷의 산란통은 적갈색 바탕에 말단 1/3 정도가 흑갈색이다. 산란통 길이는 제5등판과 비슷하다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 주요작물인 복숭아, 망고, 구아바의 심각한 해충이며, 다음과 같은 다양한 과를 가해하는 다식성 과실파리이다 - Anacardiaceae, Annonaceae, Arecaceae, Caricaceae, Combretaceae, Curcubitaceae, Fabaceae, Lecythidaceae, Malpighiaceae, Malvaceae, Myrtaceae, Punicaceae, Rosaceae,

Rutaceae, Tiliaceae [상세한 숙주목록은 Allwood et al. (1999), Tsuruta et al. (1997) 참조].

**가해 가능한 국내작물:** 복숭아와 살구, 귤류, 사과, 석류, 토마토, 가지, 감자 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 주로 인도와 파키스탄에 분포하며 북아프리카와 아라비아반도에도 정착되었다.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 300개 이상의 바코드가 입력되어 있다. 분석결과 대부분의 개체들이 2개의 클러스터로 확연하게 나뉘며 이들 간의 바코드 거리는 약 5% 정도이다. 따라서 2개의 잠재적 근연종이 존재하는 것으로 사료된다. 추가적인 연구가 필요한 상황이나, 일단은 이 두 개체군이 같이 묶이므로 일반적인 동정에는 문제가 없다.

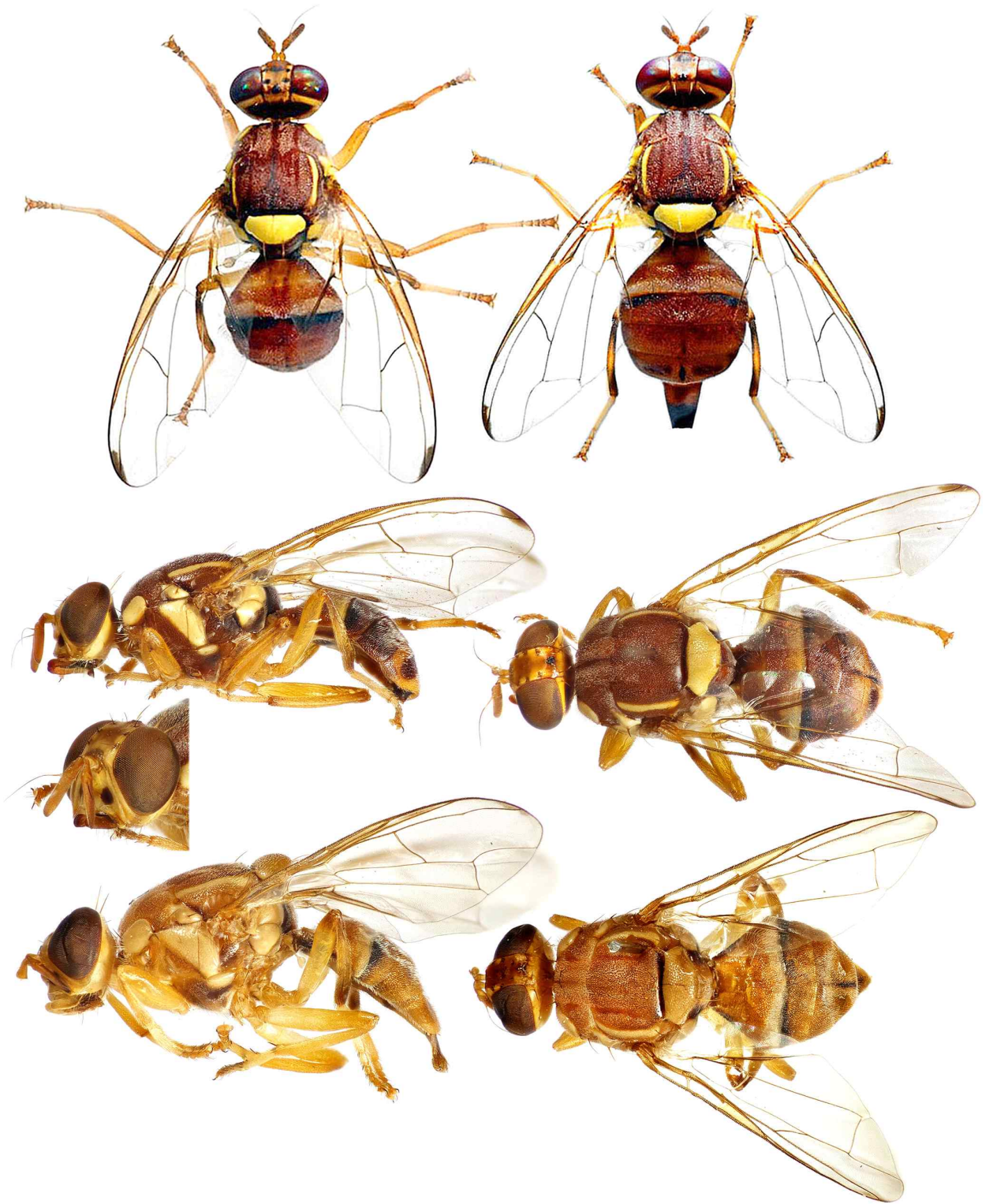


그림 29. 복숭아과실파리(*Bactrocera zonata*) 수컷 (윗줄 좌측, 2줄 + 머리) 및 암컷(첫줄 우측, 아랫줄). Upper two photos downloaded & modified from IAEA Imagebank (male - IAEA06410602, female - IAEA06410603). Lower photos by H.-Y. Han.



### 30. *Bactrocera (Daculus) oleae* (Rossi, 1790)

국명: 올리브과실파리(신칭)

영명: Olive fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Musca oleae* Rossi 1790: 317. — Italy. Tuscany: Provinces of Firenze & Pisa. T A ZMHU? Type data (Thompson & Pont 1993: 103). N. Comb.

*Dacus oleae* var. *funesta* Guercio 1900: 35. — Not stated [Italy]. T A Unknown.

*Dacus oleae* var. *flaviventris* Guercio 1900: 35. — Italy. “nella stessa provincia”; & Calabria. ST A Unknown.

*Dacus oleae* var. *asiatica* Silvestri 1916: 425. — India. Cherat. ST ♂♀ IZUSN?

*Musca oleae* Gmelin 1790: 284. — Gallia meridionali [s. France]; & Italy. T A Unknown. Preocc. Rossi 1790; type data (Thompson & Pont 1993: 35, 103).

*Musca oleae* Petagna 1792: 685. — Italy. Calabria. T A Unknown. Preocc. Rossi 1790.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 51위 - **기존등급:** 관리해충

**등급분류 근거:** 올리브류의 주요 해충이며, 제주도에서도 올리브의 재배가 시작되었으므로 금지해충으로 격상할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 *Bactrocera*로서는 드물게, 방패판의 측면과 중앙에 노란색 세로 띠가 없으며, 어깨돌기와 작은방패판, 다리가 노란색이며, 제2~4복부등판에 각각 1쌍씩의 큰 흑색의 반문이 있는 것으로 쉽게 구분될 수 있다. 또한 R<sub>4+5</sub>맥의 말단부에 있는 작은 흑갈색 점과 전연문(pterostigma)이 말단부만 갈색인 것을 제외하면 거의 투명하다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 큰 원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과, 1쌍의 안와센털을 가진다. 방패판은 전체적으로 흑갈색이며 가장자리와 후면은 황갈색이며, 세로띠가 없다. 어깨돌기와 작은방패판은 황색이다. 날개 앞쪽의 등엽판 후반 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하엿판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 상엽등판은 흑갈색이며, 하엽등판은 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황색이다. 날개는 투명하며 R<sub>4+5</sub>맥의 말단부에 있는 작은 흑갈색 점과 전연문(pterostigma)이 말단부만 갈색인 것을 제외하면 거의 투명하다. 복부등판들은 황오렌지색이며 제2~4복부등판에 각각 1쌍씩의 큰 흑색의 반문이 있다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 올리브류.

**가해 가능한 국내작물:** 올리브류.

**분포:** 사하라 이남의 아프리카 원산이나, 북아프리카, 유럽, 중동, 인도/파키스탄 등지까지 도입됨.

**유인제:** 알려져 있지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 199개의 바코드가 입력되어 있다. 바코드 분석 시 명확히 구분되는 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 1% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 가능한 것으로 사료된다.



그림 30. 올리브과실파리(*Bactrocera oleae*). Drawing (male) courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han (male & female abdomen, female in lateral view).

31. *Bactrocera (Notodacus) xanthodes* (Broun, 1904)

국명: 섬과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Tephrites xanthodes* Broun 1904: 306. — Tonga; Cook Is. Rarotonga; & Fiji. Viti Levu: Suva. ST ♂♀ AMNZ?

*Tephrites xanthodes* Broun 1905: 3. — Tonga; Cook Is. Rarotonga; & Fiji. Viti Levu: Suva. ST ♂♀ AMNZ? Preocc. Broun 1904.

*Dacus xanthodes* Broun 1905: 327. — Tonga; Cook Is. Rarotonga; & Fiji. Viti Levu: Suva. ST ♂♀ AMNZ? Preocc. Broun 1904.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 31위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 남태평양의 피지나 사모아 등의 섬에 분포한다. 빵나무의 주요해충으로 알려져 있으나, 20개 식물과를 가해한 기록이 있다. 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 *Bactrocera*로서는 독특하게 어깨돌기에 1개의 센털이 있다. 또한 몸체가 전체적으로 황갈색이며 어깨돌기에서부터 방패판 및 작은방패판까지 황색의 뚜렷한 세로띠가 1쌍 있는 것으로도 쉽게 구분된다.

**성충형질:** 중형의 *Bactrocera*이다. 머리는 황갈색이며, 얼굴은 1쌍의 작은 원형의 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 가슴은 황갈색이며, 어깨돌기에서부터 방패판 및 작은방패판까지 황색의 뚜렷한 세로띠가 1쌍 있다. 측면에는 중흉앞상엽판과 후흉하옆등판만 황색이며 나머지는 황갈색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리도 대부분 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 연갈색 띠가 전연문(pterostigma)에서부터 R<sub>4+5</sub> 맥 말단부를 지나 M맥에 이르기 1/2전에 끝난다. bcu맥실은 옅은 황색이다. 복부는 전체적으로 황색이다. 암컷의 산란통은 제4~5등판 길이와 비슷하다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 249쪽 참조.

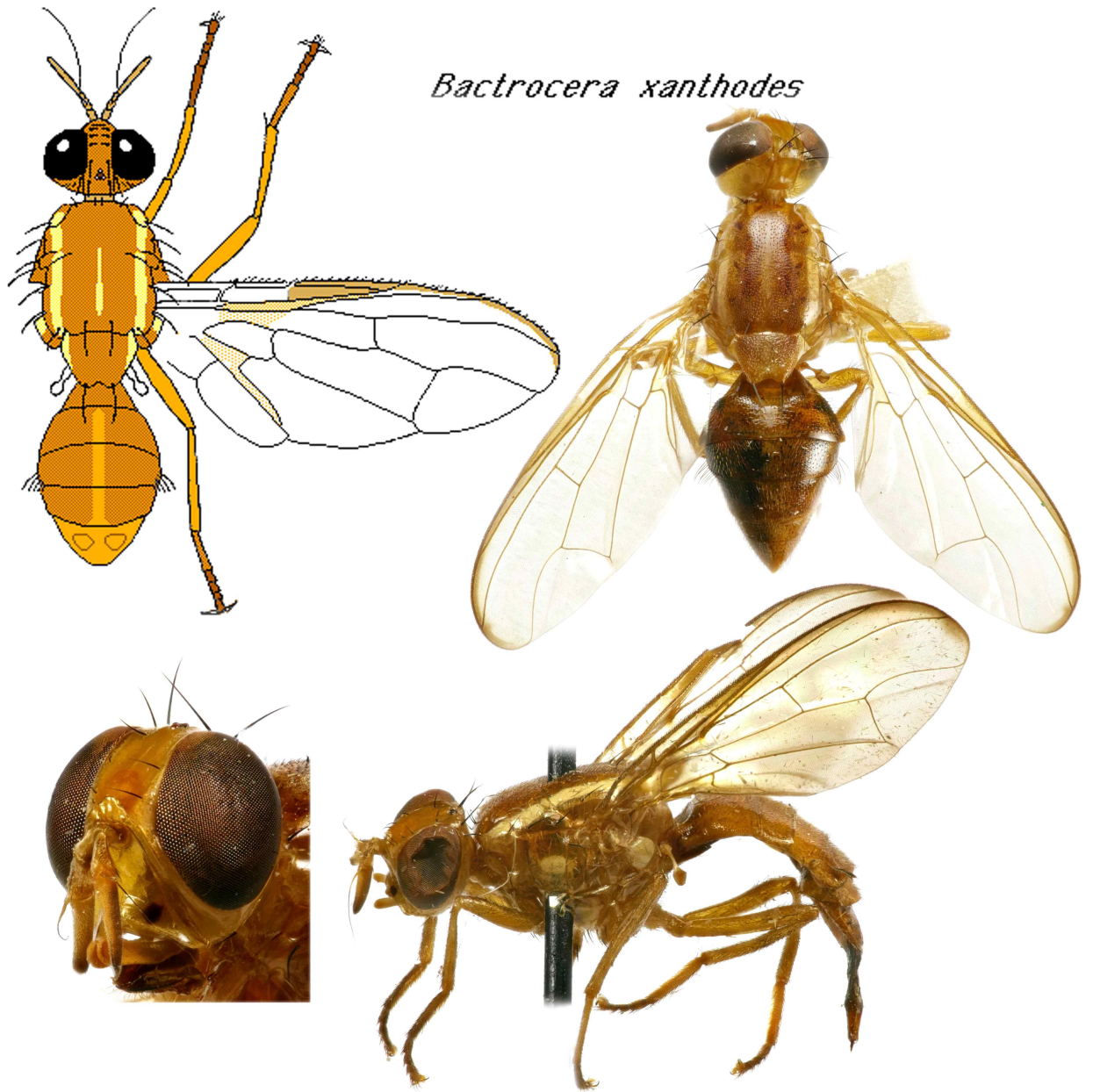
**숙주범위:** 빵나무와 파우파우를 비롯하여, 다음 과를 포함하는 20개 과를 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Caricaceae, Combretaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Lecythidaceae, Moraceae, Passifloraceae, Rutaceae, Sapotaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 노지재배작물의 해충으로 알려져 있지는 않으나, 다식성 해충이므로 주의할 필요가 있다.

**분포:** 피지, 사모아, 통가, 쿡제도.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 14개의 바코드가 입력되어 있다. 바코드 분석 시 2개의 명확한 근연 클러스터를 이루는 것으로 보아 외형이 비슷한 2종이 존재하는 등의 분류학적 문제가 있는 것으로 사료된다. 1개의 클러스터는 *B. passiflorae*와 섞여 있으므로, 오히려 형태적으로 확연히 다른 *B. passiflorae*와 근연종으로 사료된다. 현재 이 종은 특이한 형태형질에 기인하여 *Notodacus* 아속으로 분류되고 있으나, 이 형질(어깨돌기에 1개의 센털)을 갖고 있지 않은 *B. passiflorae*와 근연종이라면 이 아속 분류는 재편되어야 할 것이다.



*Bactrocera xanthodes*

그림 31. 섬과실파리(*Bactrocera xanthodes*). Drawing (male) courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos (female) by H.-Y. Han.

### 32. *Bactrocera (Tetradacus) minax* (Enderlein, 1920)

국명: 중국귤과실파리

영명: Chinese citrus fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Polistomimetes minax* Enderlein 1920: 358. — India. Sikkim. Lectotype ♂ BMNH. Lectotype designated by White & Wang 1992: 277.

*Mellessis citri* Chen 1940: 133. — China. Sichuan: Chengtu [Chengdu]; & Kiangtsin. Syntype ♂♀ IZAS. Inference of Holotype by White & Wang 1992: 277 invalid.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제1급 11위 - **기존등급:** 금지해충.

**등급분류 근거:** 인도 동부에서 중국 남서부까지 분포하는 협식성 해충으로, 주로 귤류를 가해한다. 그 분포범위로 볼 때, 도입 시 제주도에서 월동 가능성이 있는 검역해충이다.

**진단형질:** 중국 남서부의 분포지역이 중첩되는 일본귤과실파리(*B. tsuneonis*)와 매우 유사하나 날개 말단의 황갈색 반문이 크고 앞쪽에서 끊어지지 않는 것으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 대형종이며 복부가 길쭉한 자루모양이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 더듬이홈(antennal furrow)을 거의 채우며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 가슴은 적갈색이며 어깨돌기와 작은방패판은 황색이며 방패판 양 옆에 있는 1쌍의 넓은 황색 세로띠는 어깨돌기와 연결되어 시작하여 작은방패판과 충분한 거리를 띄고 끝난다. 방패판의 중앙, 횡단봉합선 뒤쪽에는 짧은 황색 세로띠가 있다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색을 띤다. 날개는 중맥(M) 앞쪽으로 황색을 띠며, 전연문(pterostigma)은 황갈색이며, R<sub>2+3</sub>맥 말단 뒤쪽으로 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥까지 도달하기 1/2부분까지 커다란 황갈색 반점이 있다. bcu맥실은 황색이다. 복부는 황갈색이며, 제3~5등판은 각각 전단부와 중앙부에 흑색의 T-무늬를 찾아볼 수 있다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 운향과(Rutaceae)의 귤류(*Citrus* spp.), 금귤류(*Fortunella* spp.)를 가해  
**가해 가능한 국내작물:** 귤류 및 금귤류.

**분포:** 인도 북부에서 부탄과 네팔, 중국 남서부까지.

**유인제:** Methyl eugenol에 약하게 유인됨.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 62개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 0.5% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 확실하며, 근연종인 *B. tsuneonis*와도 명확히 구분된다.

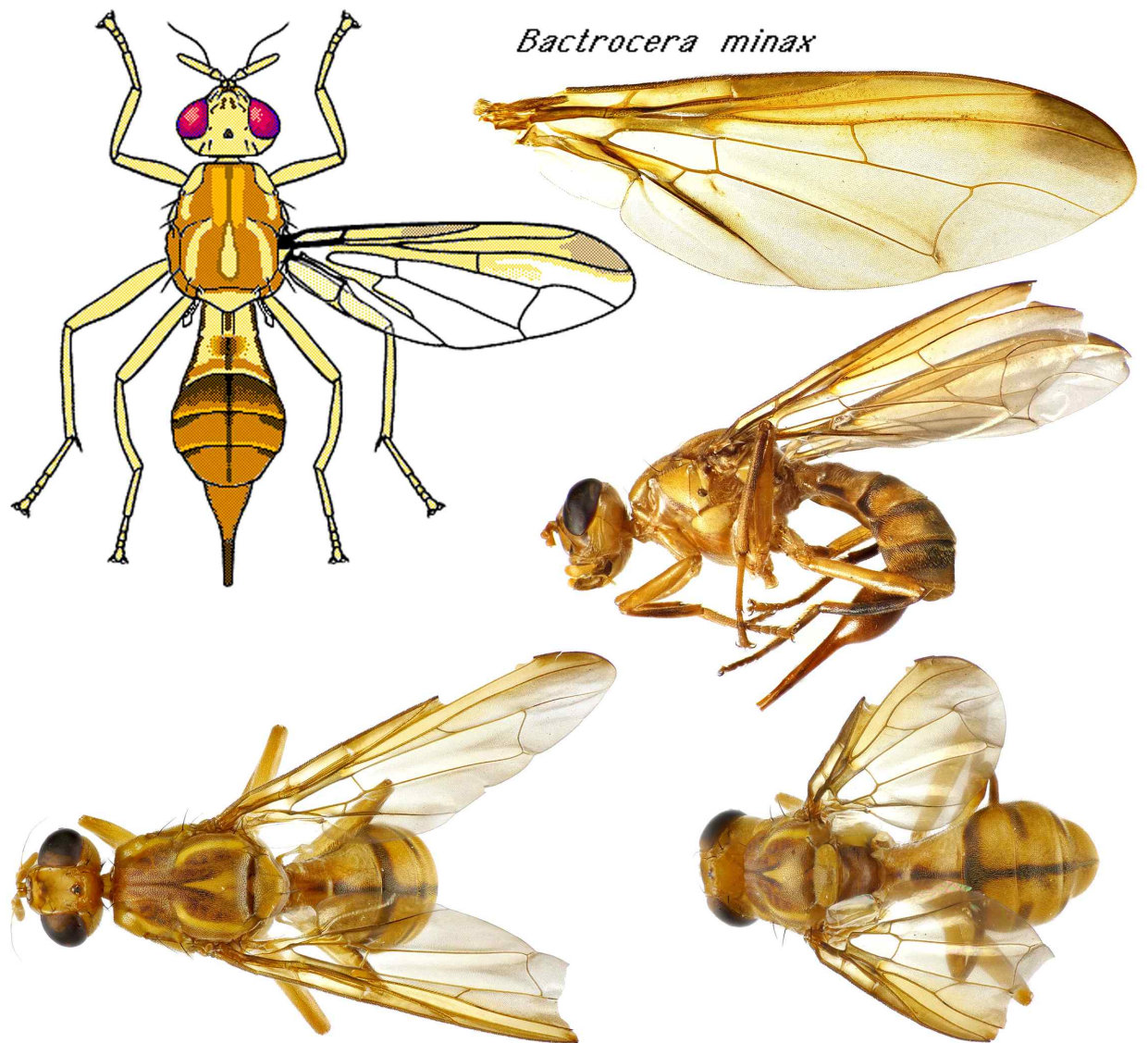


그림 32. 중국굴과실파리(*Bactrocera minax*), 암컷(1~2줄) 및 수컷(아랫줄). Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

### 33. *Bactrocera (Tetradacus) tsuneonis* (Miyake, 1919)

국명: 일본귤과실파리

영명: Japanese orange fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus tsuneonis* Miyake 1919: 92. — Japan. Kyushu: Oita Pref., Tsugumi.

Syntype ♂♀ Unknown. Syntype presumed lost (Shiraki 1933: 116).

*Dacus cheni* Chao 1987: 4. — China. Guangxi: Pingxiang. Holotype ♂ PQMAB.

*Dacus ferrugineus*: Kuwana 1910: 23. — Misidentification (See Miyake 1919: 88).

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 10위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 일본 남부(큐슈까지)와 중국 남서부에 분포하는 협식성 해충으로, 주로 귤류를 가해한다. 그 분포범위로 볼 때, 도입 시 제주도에서 월동 가능성이 있는 검역해충이다.

**진단형질:** 중국 남서부의 분포지역 중첩되는 중국귤과실파리(*B. minax*)와 매우 유사하나 날개 말단의 황갈색 반문이 약간 작고 앞쪽에서 약간 끊어진 것으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 대형종이며 복부가 길쭉한 자루모양이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖고 있다. 가슴은 적갈색이며 어깨돌기와 작은방패판은 황색이며 방패판 양 옆에 있는 1쌍의 넓은 황색 세로띠는 어깨돌기와 연결되어 식작하여 작은방패판과 충분한 거리를 띠고 끝난다. 방패판의 중앙, 횡단봉합선 뒤쪽에는 짧은 황색 세로띠가 있다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색을 띤다. 날개는 중맥(M) 앞쪽으로 황색을 띠며, 전연문(pterostigma)은 황갈색이며, R<sub>2+3</sub>맥 말단 뒤쪽으로 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥까지 도달하기 1/2부분까지 커다란 황갈색 반점이 있다. bcu맥실은 황색이다. 복부는 황갈색이며, 제3~5등판은 각각 전단부와 중앙부에 흑색의 T-무늬를 찾아볼 수 있다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 운향과(Rutaceae)의 귤류(Citrus spp.)와 금귤류(Fortunella spp.)를 가해.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류 및 금귤류를 가해할 수 있다.

**분포:** 일본(큐슈, 류큐 제도), 중국남서부.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 29개체가 입력되어 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 0.5% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 확실하며, 근연종인 *B. minax*와도 명확히 구분된다.



그림 33. 일본굴과실파리(*Bactrocera tsuneonis*), 윗줄 수컷, 아랫줄 암컷. Photos by H.-Y. Han.



**34. *Zeugodacus (Austrodacus) cucumis* (French, 1907)**

국명: 호주오이과실파리(신칭)

영명: Cucumber fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus tryoni* var. *cucumis* French 1907: 307. — Australia. Queensland: Bowen.  
Syntype MVMA? Type data (Drew 1989: 185).

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 22위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 호주 동부에 분포하며, 오이나 호박류의 주요 해충이다. 토마토 등 다른 식물들을 가해한 기록도 있다.

**진단형질:** 이 종은 몸이 전체적으로 황갈색이며 방패판에 중앙과 측면에 3개의 황백색 세로띠가 있는 점과, 어깨돌기와 작은방패판이 황백색인 점, 그리고 복부 제5등판 중앙부에 작은 흑색 세로띠가 있는 것으로 대부분의 *Zeugodacus*와 쉽게 구분될 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와센털은 1쌍이다. 몸 전체가 황갈색에서 적갈색을 띠며 어깨돌기와 작은방패판은 황백색이다. 방패판은 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황백색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 황백색 중앙세로띠는 앞부분이 뾰족하고 뒤쪽으로 넓어져서 작은방패판 전방에서 끝난다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색에서 적갈색이며 무늬가 없다. 날개는 투명하며 전연문(pterostigma)에서 시작되는 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에 이르기 1/3쯤에 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 연갈색의 띠가 있다. 복부는 황갈색 내지 적갈색이며 뚜렷한 띠는 거의 찾아보기 힘들다. 제5등판 중앙부에 가는 흑색 세로띠가 있다. 암컷 산란통도 복부와 같은 색이며 아래쪽에서 측정하면 제4~5등판을 합한 길이와 비슷하다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 172쪽 참조.

**숙주범위:** 주로 오이나 호박 등 박과식물의 해충으로 알려져 있으나, 다음과 같은 다양한 과를 가해한 기록이 있다 - Anacardiaceae, Caricaceae, Combretaceae, Curcubitaceae, Ebenaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Solanaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 오이, 호박, 참외 등.

**분포:** 오스트레일리아 (NT, Qld., NSW).

**유인제:** 간혹 Cue-lure에 유인되나, 효과적인 유인제는 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 11개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 0.5% 이내로 일치하는 개체들의 명확한 동정이 가능한 것으로 사료된다.



그림 34. 호주오이과실파리(*Zeugodacus cucumis*) 수컷(좌측)과 암컷(우측). Photos by H.-Y. Han.

**35. *Zeugodacus (Zeugodacus) atrisetosus* Perkins, 1939**

국명: 남방호박과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Zeugodacus atrisetosus* Perkins 1939: 29. — Papua New Guinea. Mafula, 4000 ft.; Mondo, 5000 ft.; Northern: Mt. Lamington. ST ♀ BMNH.

*Dacus papuaensis* Malloch 1939: 412. — Papua New Guinea. Morobe: Bulolo. HT ♂ AMS?

*Melanodacus rubidus* May 1958: 297. — Papua New Guinea. Eastern Highlands: Goroka [6°05'S 145°23'E]. HT ♂ QMBA.

*Dacus cucumis*: Malloch 1939: 412. — misid. see Drew 1989: 197.

**검역해충 등급제안:** 관리해충 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 파푸아뉴기니에서 주로 박과식물을 가해하는 해충이며, 도입 시 제 주도의 박과식물을 가해할 가능성이 없지 않다.

**진단형질:** 이 종은 언뜻 보기에 *Z. cucumis*와 비슷하나, 작은방패판 앞쪽 중앙부에 1쌍의 센털(prescutellar setae)와, 방패판 날개 앞부분에 센털(supra-alar seta)이 있는 점으로 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와 센털은 1쌍이다. 몸 전체가 황갈색에서 적갈색을 띠며 어깨돌기와 작은방패판은 황백색이다. 방패판은 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황백색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 황백색 중앙 세로띠는 앞부분이 뾰족하고 뒤쪽으로 넓어져서 작은방패판 전방에서 끝난다. 작은방패판 앞쪽 중앙부에 1쌍의 센털(prescutellar setae)와, 방패판 날개 앞부분에 센털(supra-alar seta)이 있다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색에서 적갈색이며 무늬가 없다. 날개는 투명하며 전연문(pterostigma)에서 시작되는 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 이어져서 R<sub>4+5</sub>맥 말단부를 지나 M맥 말단부에 이르기 1/3쯤에 끝나며 띠의 말단부는 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 연갈색의 띠가 있다. 복부는 황갈색 내지 적갈색이며 뚜렷한 띠는 거의 찾아보기 힘들다, 제5등판 중앙부에 작은 흑색 세로띠가 있다. 암컷 산란통도 복부와 같은 색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 주로 박과식물(열매)을 가해.

**가해 가능한 국내작물:** 수박, 참외, 오이, 호박, 토마토 등.

**분포:** 파푸아뉴기니.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 수록된 바코드가 없다.

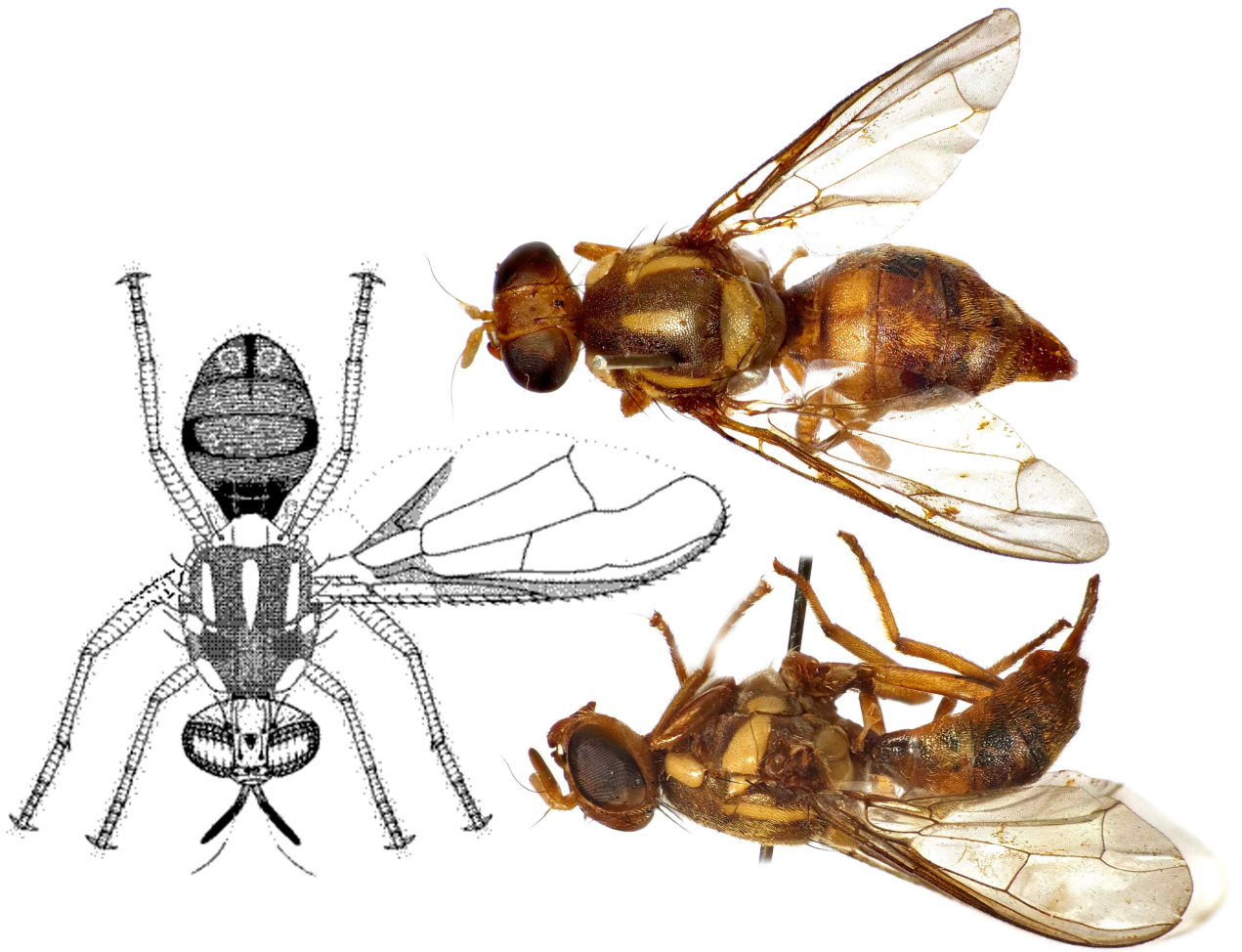


그림 35. 남방호박과실파리(*Zeugodacus aristosetosus*). Drawing (male) courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos (female) by H.-Y. Han.

36. *Zeugodacus (Zeugodacus) caudatus* (Fabricius, 1805)

국명: 열대호박꽃과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus caudatus* Fabricius 1805: 276. — Indonesia. Java. LT ♀ UZMC. Lectotype designation by inference of holotype by Hardy 1973: 60; type data (Zimsen 1964: 485).

*Bactrocera maculipennis* Doleschall 1856: 412. — Indonesia. Javam [Java]. T A NMW? Type data (Bezzi 1913: 75).

**검역해충 등급제안:** 관리해충 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 인도에서 대만까지 널리 분포하며, 박과식물을 가해한다. 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 없지 않다.

**진단형질:** 이 종은 언뜻 보기에 *Z. tau*와 비슷하나, 얼굴 하단부에 흑색 점이 아닌 가로띠가 있으며 날개 전단부 갈색 띠의 말단부가 약간만 확장되어 있는 것으로 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 하단부에 흑색 가로띠가 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와센털은 1쌍이다. 방패판은 전체적으로 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털을 바로 지나서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 약간 짧다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등열판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하열판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하열등판도 황색이다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 넓적다리마디들은 황갈색이며, 앞다리와 뒷다리 종아리마디는 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝부분이 약간 확장되어 있다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 좁은 중앙 세로띠가 뚜렷하며, 제3등판의 가로무늬와 함께 T-자를 형성하며, 제4~5등판 측면에도 각각 넓은 흑색 가로무늬가 있다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 바로 제4~5등판 길이와 비슷하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 박과식물(꽃).

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(꽃).

**분포:** 인도에서 대만까지 널리 분포.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 *Bactrocera caduata* 또는 *Zeugodacus caudatus*로 기록된 60개 이상의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 1% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 명확한 동정이 가능하다. 계통분석에 따르면 *Z. diversus*의 근연종으로 사료된다.

그림 36. 열대호박과실파리(*Zeugodacus caudatus*). Drawing (female) courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos (male) by H.-Y. Han.

37. *Zeugodacus (Zeugodacus) cucurbitae* (Coquillett, 1899)

국명: 오이과실파리

영명: Melon fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus cucurbitae* Coquillett 1899: 129. — USA. Hawaii: Oahu, Honolulu. Lectotype ♀ USNM. Lectotype designated by Drew 1989: 213.

*Dacus yuiliensis* Tseng & Chu 1992: 84. — new name for *aureus* Tseng & Chu 1982.

*Dacus aureus* Tseng & Chu 1982: 85. — Taiwan. Hualien: Yuili. Holotype ♂ BCIQT? Preocc. May 1952.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 7위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 인도에서 동남아시아까지 넓게 분포하며, 다양한 지역으로 도입되었다. 박과식물을 가해하는 과실파리 중에서 가장 위험한 해충이며, 박과식물 외에도 11개 식물의 과를 가해한 기록도 있다.

**진단형질:** 이 종은 가슴 및 배의 무늬와 날개무늬로 쉽게 구분이 가능하다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 방패판은 갈색 내지 황갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로 띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 훨씬 짧다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리마디들은 모두 옅은 황색이며, 종아리 부분이 약간 짙다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 크게 확장되어 있다. 추가로 bcu 맥실과 A맥을 따라서, 그리고 DM-Cu맥을 따라서 각각 넓은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 중앙 세로무늬가 뚜렷하며, 제3등판의 가로무늬와 함께 T-자를 형성한다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제5등판 보다 길다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 268쪽 참조.

**숙주범위:** 박과식물 외에도 다음의 과들을 가해한 기록이 있다 - Agavaceae, Capparaceae, Fabaceae, Malvaceae, Moraceae, Myrtaceae, Rhamnaceae, Rutaceae, Sapotaceae, Solanaceae, Vitaceae [상세한 숙주목록은 Allwood et al. (1999), Leblanc et al. (2012) 참조].

**가해 가능한 국내작물:** 주로 박과식물. 박과식물에서는 꽃과 과실을 다 가해한다.

**분포:** 아프리카, 인도, 스리랑카, 네팔, 부탄, 미얀마, 중국 남부, 대만, 홍콩, 태국, 베트남, 캄보디아, 라오스, 하와이, 마리아제도, 타이티.

**유인제:** Raspberry ketone, cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 1,500개 이상의 바코드가 입력되어 있으며 오동정도 없다. 다만 오이과실파리 개체들이 2개의 클러스터를 형성하는 것으로 보아, 아직 기록되지 않은 잠재종이 존재하는 것으로 사료된다.



그림 37. 오이과실파리(*Zeugodacus cucurbitae*)의 수컷(1~3줄) 및 암컷(4~5줄). Photos by H.-Y. Han.



38. *Zeugodacus (Zeugodacus) decipiens* (Drew, 1972)

국명: 파푸아호박과실파리(신칭)

영명: Pumpkin fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus decipiens* Drew 1972: 13. — Papua New Guinea. New Britain: Keravat. HT ♀ QMBA.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 46위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 파푸아뉴기니의 뉴브리튼섬으로 분포가 제한된 편이나, 도입 시 제 주도에서 재배하는 박과식물을 가해할 가능성이 있다.

**진단형질:** 이 종은 독특한 날개무늬 및 복부등판이 제1등판을 제외하고 전체적으로 황갈색을 띠는 것으로 쉽게 구분이 가능하다.

**성충형질:** 대형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 하단부 가까이에 흑갈색 가로 띠가 있으며, 2쌍의 이마센털 1쌍의 안와센털이 있다. 방패판은 전체적으로 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털을 지나서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠와 길이가 비슷하나 확연히 넓다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등열판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하열판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하열등판도 황색이다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색이다. 날개는 투명하며 넓은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 지나서 M맥에 이르기 1/2에서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색 띠가 있으며, R-M맥 및 DM-Cu맥을 따라 S-자 형의 넓은 갈색 무늬가 있다. 복부는 거의 황갈색이나 제1등판은 중앙부를 제외하고 흑갈색이며, 제5등판 중앙에는 가는 갈색 세로띠가 있다. 암컷의 산란 통은 황갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 박과식물(열매).

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(열매).

**분포:** 파푸아뉴기니(New Britain).

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 수록된 바코드 서열이 없다.

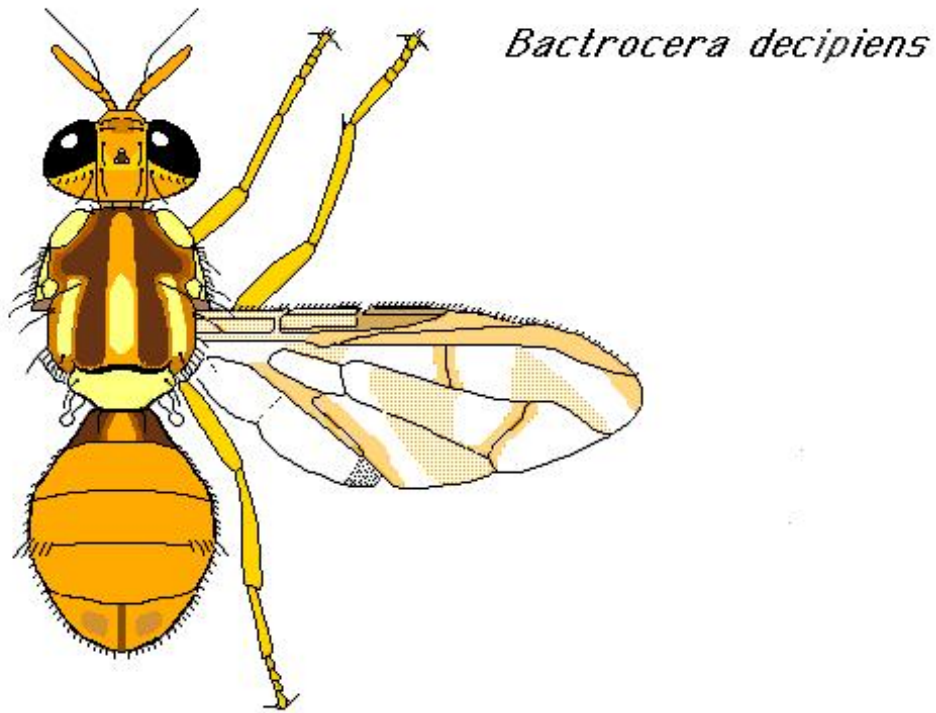


그림 38. 파푸아호박과실파리(*Zeugodacus decipiens*) 수컷. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).

39. *Zeugodacus (Zeugodacus) depressus* Shiraki, 1933

국명: 호박과실파리

영명: Pumpkin fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Zeugodacus depressus* Shiraki 1933: 90. — Taiwan. Tattaka; Japan. Nagano-ken, Kiso-fukushima; Yamanashi-ken; Gigu-ken; & Shiga-ken. Syntype ♂♀ NTU.

*Zeugodacus bezzianus* Hering, 1941: 26. — China, Sichuan, MouPin [Pao Hing]. holotype ♀ BMNH.

*Bactrocera (Zeugodacus) nubila*: Jiang et al., 2013: 365 (DNA barcode) — misid. See Han et al. 2017: 1324.

**검역해충 등급제안:** 국내서식 해충 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 한국, 일본, 대만 등지에 분포하며, 한국에서는 매우 흔한 곤충으로서, 주로 호박류의 심각한 해충이다.

**진단형질:** 언뜻 보기에 동남아에 널리 분포하는 *B. tau*와 비슷하나, 복부의 T-무늬가 덜 명확하며, 복부의 가로무늬들이 좁고, 다리가 거의 황갈색이며, 날개 말단의 흑색 점이 훨씬 좁은 것으로 쉽게 구분이 가능하다.

**성충형질:** 대형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와센털은 1쌍이다. 방패판의 전반부 중앙부위는 갈색이며 어깨돌기 뒤는 흑색이다. 어깨돌기 후반 2/3부분은 흑색이나 작은방패판 앞으로는 황갈색을 띤다. 방패판 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 훨씬 짧다. 작은방패판과 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측면 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 크게 확장되어 있다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 중앙 세로무늬가 보이며, 제3등판의 가로무늬와 함께 희미하게라도 T-자를 형성한다. 제4~5등판 측면에도 각각 좁은 흑색 가로무늬가 있다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제4~5등판을 합한 길이와 비슷하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 박과식물의 과실을 가해.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 자생 과실파리로서, 주로 호박류의 심각한 해충이다.

**분포:** 한국, 일본, 대만.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 이 학명으로 한 개의 바코드가 수록되어 있다. 그러나 이 바코드를 확인해 보면 *B. bezziana*와 *B. nubila*로 표시된 개체들과 염기서열이 일치한다. 이들 중 *B. bezziana*는 호박과실파리와 동일종으로, *B. nubila*는 오동정으로 사료된다(Han et al., 2017).



그림 39. 호박과실파리(*Zeugodacus depressus*)의 수컷(1~2줄) 및 암컷(3~4줄). Photos by H.-Y. Han.

40. *Zeugodacus (Zeugodacus) diversus* (Coquillett, 1904)

국명: 남방호박꽃과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus diversus* Coquillett 1904: 139. — Sri Lanka. Western: Colombo; India. Karnataka: Bangalore. ST ♂♀ USNM.

*Dacus quadrifidus* Hendel 1928: 343. — Ceylon [Sri Lanka]. HT ♂ DEI.

*Dacus citronellae* Kapoor & Katiyar 1969: 123. — India. Bihar: Pusa. HT ♂ INPC.

검역해충 등급제한: 금지해충 제3급 42위 - 기존등급: 없음

등급분류 근거: 박과식물(꽃)을 가해하며 분포범위가 넓어 파키스탄에서 중국 남서부까지 서식한다. 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.

진단형질: 이 종은 언뜻 보기에 *Z. tau* 또는 *Z. caudatus*와 비슷하나, 얼굴 하단부에 수컷은 흑색 점이 없으며, 암컷은 좁은 가로무늬가 있을 수 있다. 날개 전단부의 갈색 띠가 말단부에서 확장되지 않는 것으로도 쉽게 구분할 수 있다.

성충형질: 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 하단부에 얼굴 하단부에 수컷은 흑색 점이 없으며, 암컷은 좁은 가로무늬가 있다. 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털을 갖는다. 방패판은 전체적으로 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털을 바로 지나서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 약간 짧다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등열판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하열판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하열판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 넓적다리마디들은 황갈색이며, 뒷다리 종아리마디는 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 좁은 중앙 세로띠가 뚜렷하며, 제3~4등판은 가로무늬와 함께 T-자를 형성한다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 바로 제4~5등판 길이와 비슷하다.

유충형질: 자료 없음.

숙주범위: 박과식물(꽃).

가해 가능한 국내작물: 박과식물(꽃).

분포: 인도, 네팔, 스리랑카, 중국(사천, 유난), 태국.

유인제: Methyl Isoeugenol에 강하게 유인되며, cue-lure에 약하게 유인된다.

DNA 바코드: 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 *Bactrocera diversus* 또는 *Zeugodacus diversus*로 기록된 30개 이상의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 1% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 명확한 동정이 가능하다. 바코드 분석에 따르면 *Z. caudatus*의 근연종으로 사료된다.

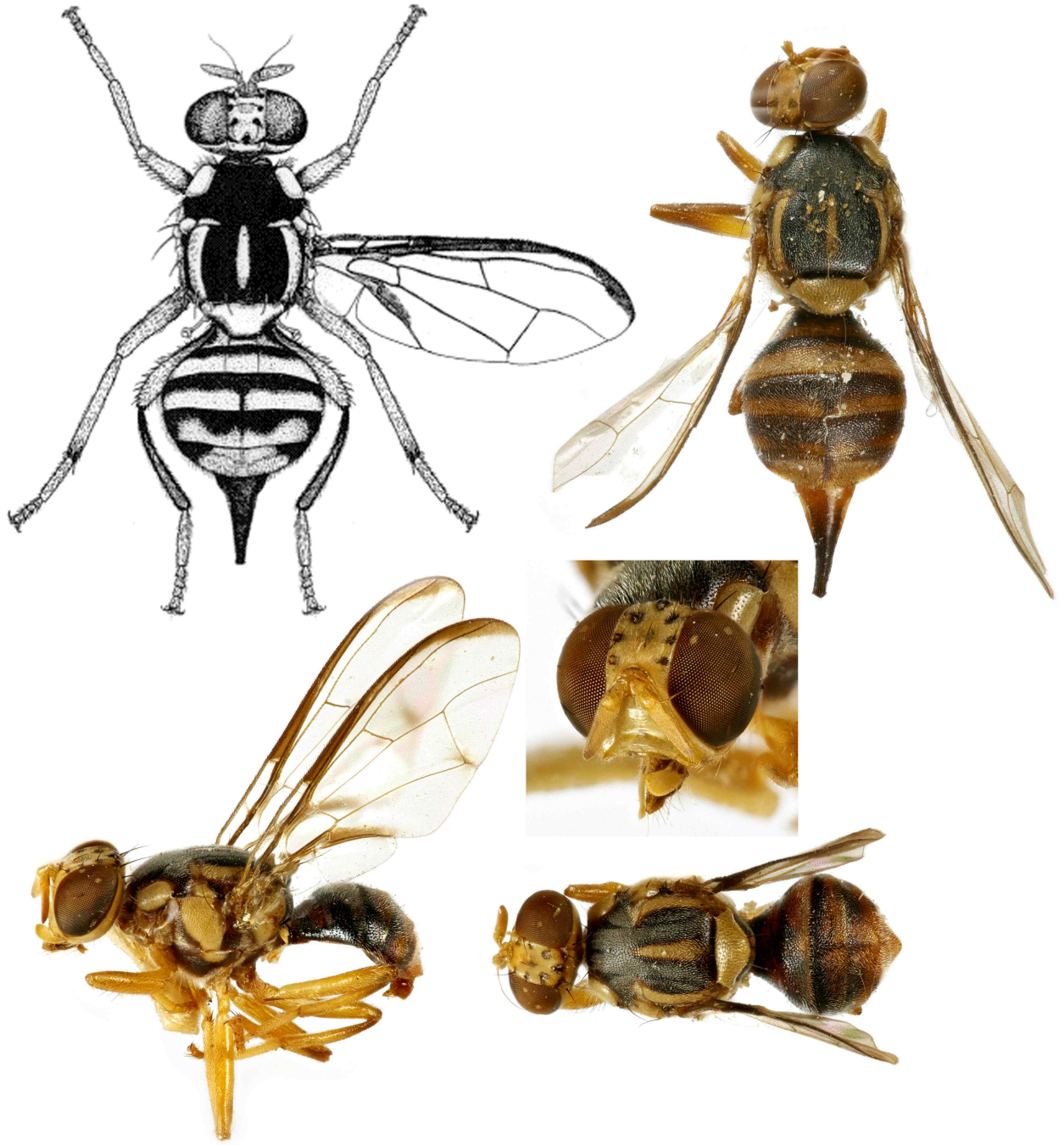


그림 40. 남방호박과실파리(*Zeugodacus diversus*), 암컷(윗줄 + 머리) 및 수컷(아랫줄).  
Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world,  
[www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

41. *Zeugodacus (Zeugodacus) hochii* (Zia, 1936)

국명: 수세미과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Sinodacus hochii* Zia 1936: 159. — China. Hainan. HT ♂ IZAS.

*Sinodacus hainanus* Chao & Lin 1996: 126. — China. Hainan: Baoting. HT ♂ PQMAB.

검역해충 등급제한: 관리해충 - 기존등급: 없음

등급분류 근거: 동남아에 분포하며, 수세미를 비롯한 3종의 박과식물을 가해하는 것으로 알려져 있다.

진단형질: 이 종은 언뜻 보기에 *Dacus* 속의 *Callantra* 아속과 비슷하다. 얼굴 하단에 넓은 흑갈색 가로띠가 있으며, 날개 말단부에 매우 큰 원형의 흑갈색 반점이 있는 것으로 쉽게 구분될 수 있다..

성충형질: 대형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 하단부에 넓은 흑색 가로띠가 있으며, 2쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털이 있다. 방패판은 전체적으로 적갈색이며, 횡단봉합선 뒤쪽에는 측면 세로띠가 없으며, 중앙에만 가는 황색 세로띠가 있다. 어깨돌기와 작은방패판은 황색이다. 날개 앞쪽의 등옆판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 넓적다리마디들은 갈색이 우세하며, 종아리마디들은 황갈색이다. 날개는 투명하며 넓은 연갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥에서 끝나며, 날개 말단부에는 r<sub>4+5</sub>맥실의 말단 1/2을 포함하는 큰 원형의 흑갈색 점이 이 있다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 황갈색 띠가 있다. 복부등판들은 적황색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 좁은 중앙 세로띠가 뚜렷하며, 제3등판의 가로무늬와 함께 T-자를 형성한다.

유충형질: 자료 없음.

숙주범위: 수세미(*Luffa cylindrica*).

가해 가능한 국내작물: 수세미.

분포: 중국(유난성), 태국, 베트남, 말레이시아, 인도네시아.

DNA 바코드: 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 *Bactrocera hochii*로 기록된 16개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 1% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 명확한 동정이 가능하다.



그림 41. 수세미과실파리(*Zeugodacus hochii*)의 수컷. Photos by H.-Y. Han.



42. *Zeugodacus (Zeugodacus) mundus* (Bezzi, 1919)

국명: 애호박과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Chaetodacus mundus* Bezzi 1919: 429. — Philippines. Luzon, Laguna: Los Banos [14°11'N 121°11'E]; Mindanao, Davao. ST ♂♀ Baker. Lectotype designated by Hardy 1969: 481 invalid; ST currently in MCSNM.

*Zeugodacus tibialis* Shiraki 1933: 96. — Taiwan. Kashoto; & Taito. ST ♂♀ NTU.

검역해충 등급제안: 관리해충 - 기존등급: 없음

등급분류 근거: 대만과 필리핀에 분포하며, 애호박류를 가해한다.

진단형질: 이 종은 언뜻 보기에 *Z. tau*와 비슷하나, 얼굴에 점이 없고, 날개 전단의 갈색 띠의 말단부가 확장되지 않으며, DM-Cu맥을 따라 좁은 갈색띠가 있는 것으로 쉽게 구분할 수 있다.

성충형질: 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 점이 없다. 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와센털은 1쌍이다. 방패판은 전체적으로 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 바로 전방에서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 약간 짧다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등옆판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 다리는 황갈색 바탕이며, 넓적다리마디 중 앞다리 것은 거의 갈색이며, 중간 것은 말단 1/2, 뒷 것은 말단 1/3이 갈색이다. 종아리마디들은 전체적으로 갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나나 M에 이르기 1/2전에 끝나며, 끝 부분은 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색 띠가 있으며, DM-Cu맥을 따라 있는 좁은 띠와 연하게 뒤쪽으로 연결되어 있다. 복부 등판들은 황갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 좁은 중앙 세로띠가 뚜렷하며, 제3등판의 가로무늬와 함께 T-자를 형성하며, 제4~5등판 측면에도 각각 넓은 흑색 가로무늬가 있다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제4~5등판 길이와 비슷하다.

유충형질: 자료 없음.

숙주범위: 애호박(꽃).

가해 가능한 국내작물: 애호박(꽃).

분포: 필리핀, 대만.

유인제: 알려지지 않음.

DNA 바코드: 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 수록된 바코드가 없다.



그림 42. 애호박과실파리(*Zeugodacus mundus*)의 수컷(중앙의 부분사진) 및 암컷(몸체 옆면, 등면). Photos by H.-Y. Han.

43. *Zeugodacus (Zeugodacus) scutellaris* (Bezzi, 1913)

국명: 동남아호박꽃과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Bactrocera scutellaris* Bezzi 1913: 98. — India. Meghalaya: Shillong; W. Bengal: Siliguri; Kurseong, 5000 ft.; Uttar Pradesh: Bhowali, Kuamon, 5700 ft. ST ♂ ♀ ZSI.

*Zeugodacus malaisei* Hering 1938: 4. — Burma. Kachin: Kambaiti [25°24'N 98°9'E]. HT ♀ NRS. N. Syn. of *Bactrocera scutellaris* Bezzi (Norrbom et al. 1999: 103).

*Dacus pusaensis* Kapoor & Katiyar 1970: 252. — India. Bihar: Pusa. HT ♂ INPC. N. Syn. of *Bactrocera scutellaris* Bezzi (Norrbom et al. 1999: 103).

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 47위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 박과식물의 꽃을 가해하며 분포범위가 넓어 중국 남서부까지 서식한다, 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.

**진단형질:** 이 종은 가슴과 배의 대부분이 검정색, 방패판에 3개의 매우 가는 황색 세로띠가 있고, 소순판이 황색이며 말단부가 흑색이며, 앞다리 종아리마디의 대부분, 중간 및 뒷다리 종아리마디의 말단 1/3이 흑색인 점 등으로 근연종들과 쉽게 구분이 가능하다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와센털은 1쌍이다. 방패판은 전체적으로 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 가는 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 훨씬 짧다. 작은방패판은 황색 바탕에 기부와 말단부가 흑색이다. 어깨돌기, 날개 앞쪽에서 측판 하단 부근까지 황색이다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 다리는 전체적으로 황색이나, 중간/뒷다리의 밀마디와 도래마디, 각 넓적다리마디의 말단부, 뒷다리 종아리마디의 기부와 말단부 쪽이 흑갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 약간 확장되어 있다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있으며, DM-Cu맥을 따라서도 열은 갈색무늬가 보인다. 복부등판들은 대부분 흑갈색 바탕이며, 제1등판 말단부에 가는 황색띠가, 제2등판 1/2 말단부에 넓은 황색띠가 있다, 개체에 따라 제3~5등판에 약간의 황색부분이 있을 수 있다. 암컷의 산란통은 흑갈색이며 제4~5등판 길이보다 길다.

**숙주범위:** 박과식물(꽃).

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(꽃).

**분포:** 인도, 네팔, 버마, 태국, 중국 남부.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에는 *Z. scutellaris*로 기록된 6개의 바코드를 찾을 수 있으며, 이들은 *B. scutellata* (= *Z. scutellatus*, 호박꽃과실파리)로 기록된 19개의 염기서열과 구분되지 않는다. 그러나 BOLD에 같은 *B. scutellata*로 기록된 나머지 30개체들이 이들과 최소 6% 이상의 바코드 거리로 명확히 분리되어 있는 것을 확인하였다. 이들은 본인들이 정확히 동정한 한국산 호박꽃과실파리와 바코드 서열이 거의 동일하므로 정확히 동정된 것들임을 알 수 있었다. 따라서 앞서 19개체의 호박꽃과실파리는 *Z. scutellaris*의 오동정 또는 유사종으로 사료된다.



그림 43. 동남아호박꽃과실파리(*Zeugodacus scutellaris*), 수컷(윗줄, 둘째 줄 좌측) 및 암컷(둘째 줄 우측, 아랫줄). Photos by H.-Y. Han.

#### 44. *Zeugodacus (Zeugodacus) scutellatus* (Hendel, 1912)

국명: 호박꽃과실파리

영명: Striped fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus scutellatus* Hendel 1912: 20. — Taiwan. Koshun. Holotype ♂ DEI.

*Dacus bezzii* Miyake 1919: 146. — Japan. Kyushu: Oita, Tsugumi; Miyazaki; & Kagoshima; Honshu: Kyoto. Syntype ♂♀ Unknown. Syntype probably destroyed (Shiraki 1933: 85).

*Dacus trivittatus*: Matsumura 1916: 411. — misid. See Shiraki 1933: 82.

**검역해충 등급제안:** 국내서식 해충 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 한국, 일본, 대만, 중국남부 등지에 분포하며, 한국에서는 매우 흔하며, 박과식물의 꽃(주로 수꽃)의 해충이다.

**진단형질:** 이 종은 방패판의 전반부가 완전히 흑색이며, 후반부에 3개의 황색 세로 띠가 있는 점, 작은방패판이 황색이며 말단부가 흑색인 점, 뒷다리 종아리마디가 흑갈색 바탕에 중앙부가 황갈색인 점 등으로 근연종들과 쉽게 구분이 가능하다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와 센털은 1쌍이다. 방패판은 전체적으로 흑색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 훨씬 짧다. 작은방패판은 황색 바탕에 기부와 말단부가 흑색이다. 어깨돌기는 황색이며, 날개 앞쪽의 등열판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하열판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하열판도 황색이다. 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있다. 다리는 전체적으로 옅은 갈색이나, 중간/뒷다리의 밑마디와 도래마디, 각 넓적다리마디의 말단부, 뒷다리 종아리마디의 기부와 말단부 쪽이 흑갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 약간 확장되어 있다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있으며, DM-Cu맥을 따라서도 옅은 갈색무늬가 보인다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕이며, 짙은 흑색의 가로띠들이 각 등판마다 있다. 제1, 2등판은 각각 기부에 좁은 가로무늬가, 제3~5등판들은 각기 기부에 T-자형의 가로띠가 있다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제5등판 길이와 비슷하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 박과식물의 수꽃을 주로 가해(상세한 숙주 목록은 Allwood et al. (1999)을 참조할 것).

**가해 가능한 국내작물:** 국내 자생 과실파리로서, 박과식물의 수꽃을 주로 가해함.

**분포:** 한국, 일본, 중국 남부, 부탄, 대만, 베트남.

**유인제:** Raspberry ketone, cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 *B. scutellata*로 50개체 이상 입력되어 있다. 1% 이내로 대부분의 종들과 일치하면 안심하고 동정할 수 있다.



그림 44. 호박꽃과실파리(*Zeugodacus scutellatus*)의 수컷(1~2줄) 및 암컷(3~4줄). Photos by H.-Y. Han.

45. *Zeugodacus (Zeugodacus) strigifinis* (Walker, 1861)

국명: 호주호박꽃과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus strigifinis* Walker 1861: 295. — Indonesia. Maluku: Batchian [Bacan I.]. T ♀ BMNH. ST lost (Drew 1989: 208), or sex misstated by Walker, only male in BMNH (see Hardy 1959: 183).

*Neodacus lanceolatus* Perkins 1939: 22. — Papua New Guinea. Kokodo, 1200 ft.; Ishurava, 3000 ft.; Central: Mondo [8°33'S 147°7'E], 5000 ft.; Northern: Mt. Lamington Dist. ST ♂ ♀ BMNH. Also ST in UQIC (possibly now in QMBA).

*Dacus albolateralis* Malloch 1939: 413. — Papua New Guinea. Morobe: Upper Watut. HT ♀ AMS.

*Neodacus strigifinis* ssp. *atritus* May 1962: 65. — Papua New Guinea. Eastern Highlands: Aiyura. HT ♂ QMBA.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제3급 49위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 인도네시아, 파푸아뉴기니, 호주 등지에서 박과식물의 꽃을 가해하며, 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 황오렌지 색을 띠며, 특히 복부에 어두운 무늬가 거의 없다. 복부 제5등판의 중앙에는 좁은 흑갈색의 세로띠가 있다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 작은 원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과, 1쌍의 안와센털을 가진다. 방패판은 전체적으로 황오렌지색이며, 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패판 측면 전방의 인트라알라센털 앞에서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 훨씬 넓다. 작은방패판과 어깨돌기는 황색이며, 날개 앞쪽의 등옆판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 지나서 M맥 1/2 전방에서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있으며, DM-Cu맥을 따라서도 열린 갈색무늬가 보인다. 복부등판들은 황오렌지색이며 제5등판 중앙에는 좁은 흑갈색의 세로띠가 있다. 암컷의 산란통은 황오렌지색이며 제4~5등판보다 약간 짧다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 박과식물(꽃).

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(꽃).

**분포:** 아프리카, 인도네시아(Maluku), 파푸아뉴기니, 호주(Qld.).

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 *Bactrocera strigifinis*로 기록된 3개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다.



그림 45. 호주호박꽃과실파리(*Zeugodacus strigifinis*)의 암컷. Photos by H.-Y. Han.



46. *Zeugodacus (Zeugodacus) tau* (Walker, 1849)

국명: 타우과실파리(신칭)

영명: Pumpkin fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dasyneura tau* Walker 1849: 1074. — China. Jiangxi: Foochow [Fuzhou]; & unknown locality. Syntype ♂ BMNH. Type data (Hardy 1959: 185).

*Dacus hageni* Meijere 1911: 375. — Indonesia. Sumatra: Serdang, Tandjong Morawa. Syntype ♀ RNH.

*Dacus caudatus* var. *nubilus* Hendel 1912: 16. — Taiwan. Tainan. Lectotype ♀ NMW. Lectotype designated by Hardy 1968: 113.

*Dacus nubilus* ssp. *femoralis* Hendel 1934: 11. — China. ne. Sichuan. Holotype ♀ NRS?

*Zeugodacus bezzianus* f. *signata* Hering 1941: 10. — India. Sikkim. Syntype ♂ ♀ ZMHU.

*Zeugodacus nubilus* ssp. *heinrichi* Hering 1941: 11. — Indonesia. Sulawesi: Bantimoeroeng. Holotype ♀ ZMHU.

*Zeugodacus bezzianus* Hering 1941: 26. — China. Sichuan: Mou Pin [Pao Hing]. Holotype ♀ BMNH.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 18위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 인도에서 동남아시아 및 중국 남서부까지 널리 분포한다. 주로 박과 식물의 과실을 가해하나, 다른 8개 식물의 과를 가해한 기록이 있는 적응성이 뛰어나며 혼한 해충이다.

**진단형질:** 이 종은 분포지인 동남아시아에서 매우 흔하다. 근연종들과의 구분을 위해 가슴 및 배무늬와 날개무늬를 잘 확인하여야 한다. 특히 작은방패관이 전부 황색이며, 복부등판의 T-무늬, 넓적다리 마디들의 끝부분 가까이에 흑갈색 무늬가 있는 점으로 근연종들과 구분이 가능하다.

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 타원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 3쌍의 이마센털 중 앞쪽 2쌍은 가깝게 근접해있다. 안와센털은 1쌍이다. 방패관의 전반부 중앙부위는 갈색이며 정중앙에 가는 흑색 세로 띠가 있으며 어깨돌기 뒤는 흑색이다. 방패관 횡단봉합선 뒤쪽 양 옆에는 1쌍의 뚜렷한 황색 세로띠가 작은방패관 측면 전방의 인트라알라센털에서 끝나며, 황색 중앙세로띠는 측면 띠보다 훨씬 짧다. 작은방패관과 어깨돌기는 황색이다. 날개 앞쪽의 등옆판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패관에는 2쌍의 센털이 있다. 넓적다리마디들은 황갈색이며 마디들의 끝부분 가까이에 흑갈색 무늬가 있다. 뒷다리 종아리마디는 흑갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 크게 확장되어 있다. 추가로 bcu 맥실과 A맥을 따라 넓은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 황갈색-갈색 바탕에 흑갈색 무늬가 있으며 중앙 세로무늬가 뚜렷하며, 제3등판의 가로무늬와 함께 T-자를 형성하며, 제4~5등판 측면에도 각각 넓은 흑색 가로무늬가 있다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 제4~5등판보다 약간 짧다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 273쪽 참조.

**숙주범위:** 박과식물 외에도 다음 과들을 가해한 기록이 있다(Allwood et al., 1999): Arecaceae, Fabaceae, Loganiaceae, Moraceae, Myrtaceae, Oleaceae, Sapotaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(열매).

**분포:** 인도, 스리랑카, 부탄, 베트남, 중국 남부, 대만, 말레이시아, 싱가포르, 부르나 이.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 *Bactrocera tau* 또는 *Zeugodacus tau*로 130개체 이상이 입력되어 있다. 일부 오동정으로 추정되는 개체들이 같은 클러스터를 이루므로, 동정 시 대부분의 개체들과 바코드 거리가 1% 이내로 일치하는지 확인하여야 한다.



그림 46. 타우과실파리(*Zeugodacus tau*)의 수컷(1~3줄) 및 암컷(4~6줄). Photos by H.-Y. Han.

47. *Zeugodacus (Zeugodacus) triangularis* (Drew, 1968)

국명: 뉴기니호박꽃과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Asiadacus triangularis* Drew 1968: 21. — Papua New Guinea. New Britain. HT  
♂ QMBA.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 50위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 뉴기니의 비스마르크제도에 분포하며 박과식물의 꽃을 가해한다. 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 있다.

**진단형질:** 이 종은 독특한 체형과 무너로 쉽게 구분이 가능하다. 전체적으로 황오렌지색이며 노란색의 작은방패판과 바로 앞 쪽 방패판의 노란색 부위가 삼각형을 형성한다. 복부 제1등판은 약간 길게 신장되어 복부 전체가 표주박과 같은 형상이다. 날개의 패턴도 상당히 독특하다(사진 참조).

**성충형질:** 중형의 *Zeugodacus*이다. 얼굴은 황갈색에 1쌍의 큰 원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과, 1쌍의 안와센털을 가진다. 방패판은 전체적으로 황오렌지색이며, 양 옆에는 세로띠가 없다. 노란색의 작은방패판과 바로 앞 쪽 방패판의 노란색 부위가 삼각형을 형성한다. 날개 앞쪽의 등엽판 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하엽판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하엽등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>4+5</sub>맥을 지나서 M맥 1/2 전방에서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있으며, DM-Cu맥을 따라 뚜렷한 갈색띠가 위쪽의 r<sub>4+5</sub>맥실을 가로지르면 연장되어 있다. 맥실 dm의 중앙부 및 위쪽 R-M맥과 아래쪽 cu2맥실 윗부분을 포괄하는 넓은 무정형의 연갈색의 띠가 있다. 복부등판들은 황오렌지색이며 제1등판은 약간 길게 신장되어 복부 전체가 표주박과 같은 형상이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 박과식물(꽃).

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(꽃).

**분포:** 파푸아뉴기니 비스마르크제도의 뉴브리튼섬, 뉴아일랜드섬, 부건빌섬 등.

**유인제:** 알려져 있지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 수록된 바코드가 없다.



그림 47. 뉴기니호박꽃과실파리(*Zeugodacus triangularis*)의 수컷. Photos by H.-Y. Han.

48. *Dacus (Callantra) solomonensis* Malloch, 1939

국명: 솔로몬호박과실파리(신칭)

영명: 없음

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus solomonensis* Malloch 1939: 236. — Solomon Is. Guadalcanal: Lunga. HT ♀ BMNH.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 48위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 솔로몬군도 및 부건빌섬에 분포하며, 호박이나 오이를 가해하는 해충이다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 갈색을 띠며, 방패판의 횡단봉합선 끝부분에서 시작하여 넓은 황색 띠가 등옆판, 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 이어져 있다. 위에서 보면, 제1 복부마디가 매우 잘록하다.

**성충형질:** 얼굴은 황갈색에 1쌍의 작은 원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 이마센털은 없으며, 1쌍의 안와센털을 가진다. 방패판은 전체적으로 갈색이며, 횡단봉합선 끝부분에서 시작하여 넓은 황색 띠가 등옆판, 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 이어져 있다. 어깨돌기 작은방패판, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 종아리와 넓적다리 마디들은 갈색이며, 발목마디 부분들은 약간 옅은 색이다. 날개에는 넓은 갈색 띠가 중맥(M)을 경계로 앞쪽으로 가로질러 있다. 맥실 bcu는 매우 길게 신장되어 날개 가장자리에 이르며 갈색이다. 복부는 갈색이며, 위에서 보면, 제1 복부마디가 매우 잘록하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 호박 및 오이를 비롯한 박과식물(열매).

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(열매).

**분포:** 부건빌섬, 솔로몬군도.

**유인제:** Cue-lure.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 수록된 바코드가 없다.

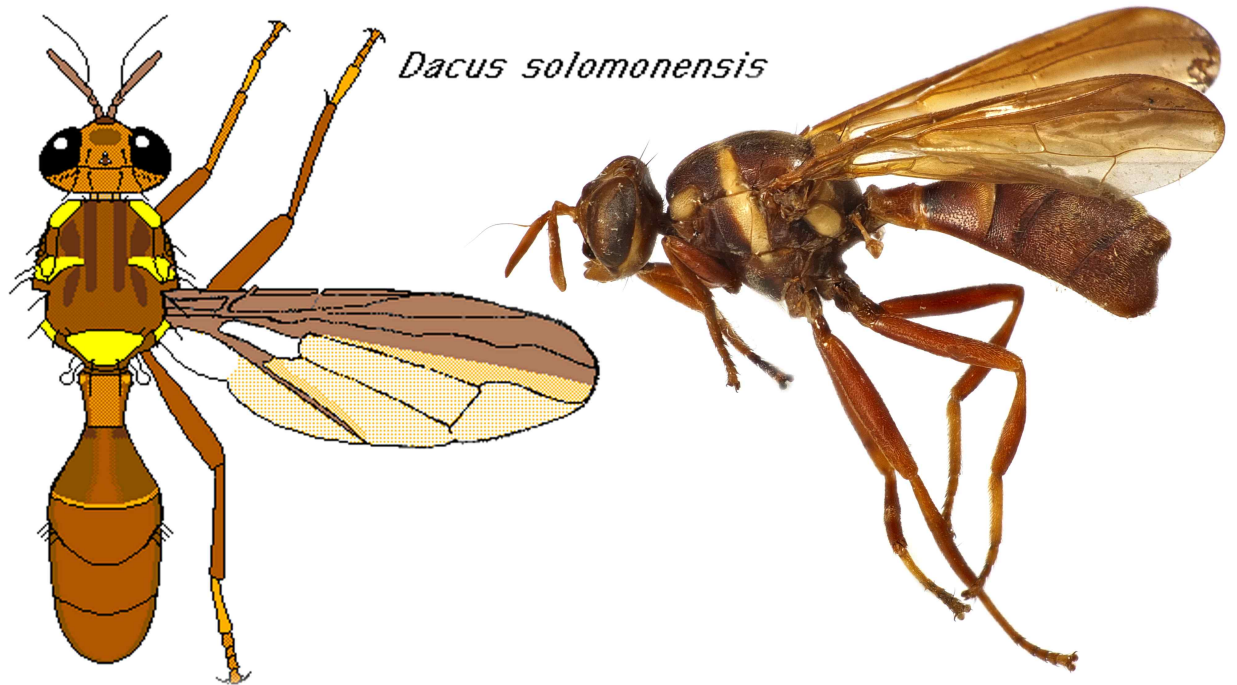


그림 48. 솔로몬호박과실파리(*Dacus solomonensis*) 수컷. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photo by H.-Y. Han.

49. *Dacus (Didacus) ciliatus* Loew, 1862

국명: 에티오피아과실파리(신칭)

영명: Ethiopian fruit fly

아과/족: Dacinae: Dacini

*Dacus ciliatus* Loew 1862: 7. — Guinea; & South Africa. Cape: Cap. Bon. Sp. [Cape of Good Hope]. ST ♂ ♀ NRS,UZMC. Type data (Munro 1932: 152).

*Dacus sigmoides* Coquillett 1901: 29. — Mauritius. HT ♀ USNM.

*Dacus brevistylus* Bezzi 1908: 149. — Eritrea. Cheren; & vic. Adi Ugri. ST ♂ ♀ MZLS. Possibly also ST in MCSNM.

*Dacus apoxanthus* var. *decolor* Bezzi 1924: 467. — South Africa. Cape: Grahamstown. ST ♀ SANC.

*Dacus insistens* Curran 1927: 85. — Zaire. Bas-Zaire: Boma (30°N 13°E). HT ♀ AMNH.

*Dacus coccinae* Premlata & Singh 1988: 401. — India. Punjab: Chandigarh. HT ♂ PUCP.

*Tridacus mallyi* Munro 1925: 42. — Nomen nudum. Published without diagnosis or indication. Attributed to Bezzi.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 41위 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 박과식물(열매)을 가해한다. 아프리카 원산이나, 중동이나 인도, 파키스탄 등지에 도입이 되었으므로 침투성이 높은 해충이다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 갈색을 띠며, 위에서 보면 어깨판, 횡단봉합선 앞으로 그어진 가는 1쌍의 가로띠, 그리고 작은방패판이 황색이다. 또한 제3 복부등판의 중앙에 1쌍의 작은 원형 흑갈색 반점을 갖는 것도 특이하다.

**성충형질:** 얼굴은 황갈색에 1쌍의 작은 원형 흑색 점이 측면 하단부 가까이 있으며, 2쌍의 이마센털과, 1쌍의 안와센털을 가진다. 방패판은 전체적으로 갈색이며, 횡단봉합선 앞부분을 따라 가는 1쌍의 가로띠가 있으며, 어깨돌기 작은방패판도 황색이다. 날개 앞쪽의 등옆판 후반부 및 그 아래로 측판 중앙을 지나 중흉앞하옆판 상부까지 황색의 넓은 띠를 형성하며, 후흉상·하옆등판도 황색이다. 작은방패판에는 1쌍의 말단센털이 있다. 다리는 전체적으로 연갈색이다. 날개는 투명하며 좁은 갈색 띠가 전단부를 따라 R<sub>2+3</sub>맥 끝에 이르러 급격히 좁아지며, 다시 약간 넓어져서 R<sub>4+5</sub>맥을 약간 지나서 끝나며, 끝 부분이 확장되지 않는다. 추가로 bcu맥실과 A맥을 따라 좁은 갈색 띠가 있다. 복부등판들은 전체적으로 갈색이며, 제3 등판의 중앙에 1쌍의 작은 원형 흑갈색 반점을 갖는다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 박과식물(열매).

**가해 가능한 국내작물:** 박과식물(열매).

**분포:** 아프리카 원산이며 중동(이집트, 이스라엘), 파키스탄, 인도, 방글라데시, 스리랑카에 도입됨.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 70개 이상의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다.



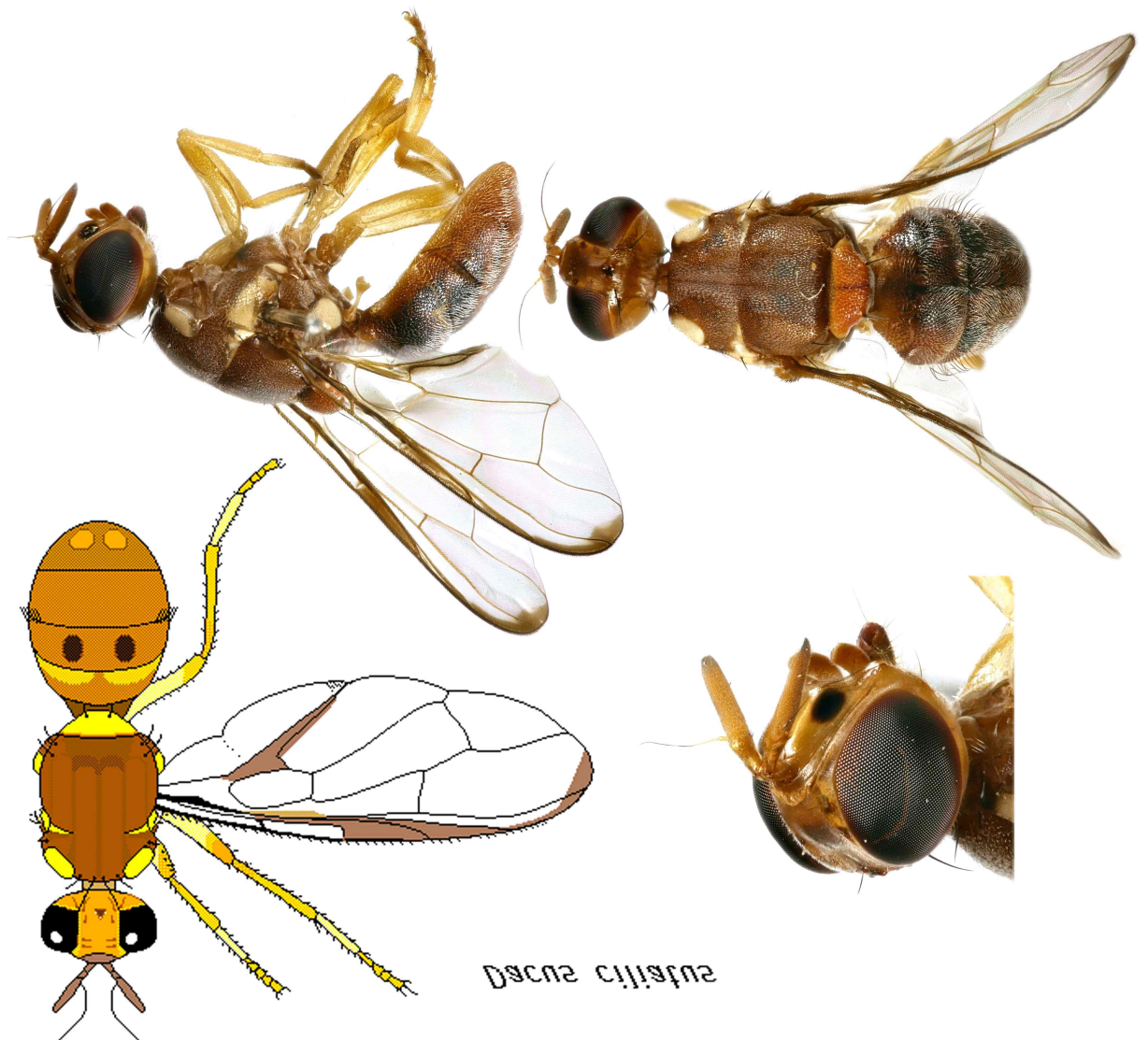


그림 49. 에티오피아과실파리(*Dacus ciliatus*) 수컷. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

50. *Ceratitidis (Ceratalaspis) quinaria* (Bezzi, 1918)

국명: 닷점박이과실파리(신칭)

영명: Five-spotted fruit fly

아과/족: Dacinae: Ceratitidini

*Pardalaspis quinaria* Bezzi 1918: 235. — Zimbabwe. Salisbury [Harare].

Syntype ♂♀ BMNH.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 60위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 아프리카에 분포하며 주요 해충으로 인식된 적은 없으나, 한국 도입 시 살구, 복숭아, 귤류를 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 연한 황갈색을 띠는 점과 소순판에 있는 5개의 점으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 몸 전체가 대부분 연한 황갈색이다. 이마센털과 안와센털은 각 2쌍이며 갈색이다. 작은방패판은 불록하며 반짝이는 황갈색에 5개의 흑색 점이 그림에서와 같이 배열되어 있다. 가슴측판과 다리는 연한 황갈색이다. 날개 패턴은 상대적으로 단순하며 전단부의 황색 가로띠와 기부세로띠가 연결되어 있다. 추가적으로 DM-Cu맥을 따라 굵은 갈색띠가 있다. 복부의 길이와 너비가 비슷하며, 산란통의 색깔도 연한 황갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 살구, 귤류, 구아바, 복숭아를 가해한 기록이 있다

**가해 가능한 국내작물:** 살구, 귤류, 복숭아.

**분포:** 케냐, 짐바브웨, 남아프리카.

**유인제:** Terpinyl acetate.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 20개체가 입력되어 있다. 바코드 계통분석 시 근연종인 *C. silvestrii*와 같은 클러스터를 이루며, 구분되지 않는다.

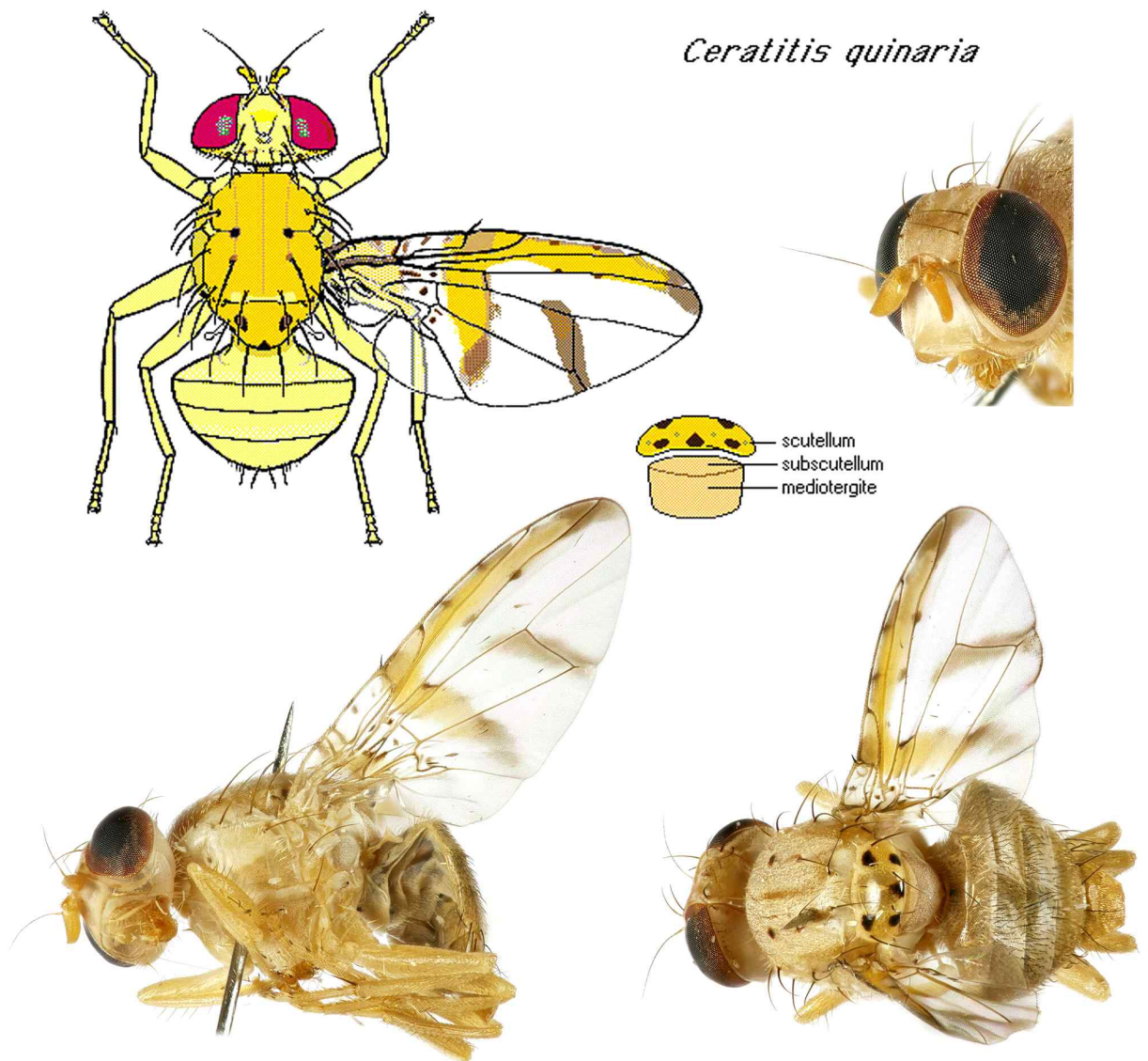


그림 50. 닳점박이과실파리(*Ceratitis quinaria*). Male drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Female Photos by H.-Y. Han.

51. *Ceratitis (Ceratitis) capitata* (Wiedemann, 1824)

국명: 지중해과실파리

영명: Mediterranean fruit fly

아과/족: Dacinae: Ceratitidini

*Tephritis capitata* Wiedemann 1824: 55. — India orient., mare indico [probably Is. of Indian Ocean]. T♂ UZMC. Type data (Wiedemann 1830: 496, Zimsen 1954: 28).

*Ceratitis citriperda* MacLeay 1829: 482. — Azores. St. Michael [Sao Miguel]. Syntype ♂♀ MMS.

*Ceratitis hispanica* Breme 1842: 188. — Spain. Malaga: environs of Malaga. Syntype ♂♀ IMZ?

*Pardalaspis asparagi* Bezzi 1924: 480. — South Africa. Cape: East London. Holotype ♀ SANC.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 2위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 북아프리카 원산이나 전 세계 많은 지역에 도입이 된 바 있는 매우 중요한 검역해충이다. 국내 작물로는 귤, 고추, 사과, 다양한 핵과류 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 소형에서 중형의 *Ceratitis*로서 매우 다채로운 색상과 무늬를 지녀서 구분이 가능하다. 특히 수컷은 앞쪽 안센털의 끝부분이 주걱처럼 넓어져 있는 것이 특이하다. 암컷의 경우도 날개무늬가 황색 부분이 많은 것과 작은방패판의 끝부분이 흑색인 것으로 근연종들과 구분이 가능하다.

**성충형질:** 머리는 흑색의 뒤통수 부분을 제외하면 연한 황갈색이다. 이마센털과 안와센털은 각 2쌍이며 흑색이다. 수컷의 앞쪽 안와센털은 주걱모양으로 자루는 백색이며, 확장된 말단부는 흑색이다. 방패판은 반짝이는 흑색 바탕에 회갈색 분이 덮여있어 3개의 흑색 세로띠가 있는 것으로 보인다 - 중앙 띠는 전반부에서 끝나며, 1쌍의 측면 띠는 길게 3 부분으로 나뉜다. 작은방패판은 불록하며 반짝이는 흑색에 기부에 가늘게 회갈색 분이 덮여있다. 가슴측판과 다리는 황갈색이다. 날개 패턴은 복잡하고 특이하며 중간과 말단부의 굵은 띠는 황색을 띤다. 복부의 길이와 너비가 비슷하며 2번 등판과 4번 등판의 말단부에 가늘게 회백색 분이 덮여있어 복부를 위쪽에서 보면 회백색 가로띠가 1쌍 보인다. 산란통은 황갈색 바탕에 말단 2/5 정도가 어두운 갈색이며, 제4~5등판 길이보다 약간 짧다.

**숙주범위:** 매우 다양한 과를 가해하는 심각한 다식성 해충 - Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Cactaceae, Caricaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Ebenaceae, Juglandaceae, Lauraceae, Lythraceae, Malpighiaceae, Malvaceae, Muntingiaceae, Myrtaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Santalaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Solanaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류, 고추, 사과, 복숭아 등 핵과류 등.

**분포:** 아프리카 원산이나, 지중해, 남부 유럽, 호주 서부, 중남미, 하와이 등지에 침입 및 정착한 바 있다.

**유인제:** Trimedlure/capilure, terpinyl acetate.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 300개체 이상 입력되어 있다. 근연종 문제가 없는 것으로 사료되며, 동정 시 대부분의 개체들과 유전자 거리 0.5% 이내로 클러스터를 이루는지 확인하면 된다.

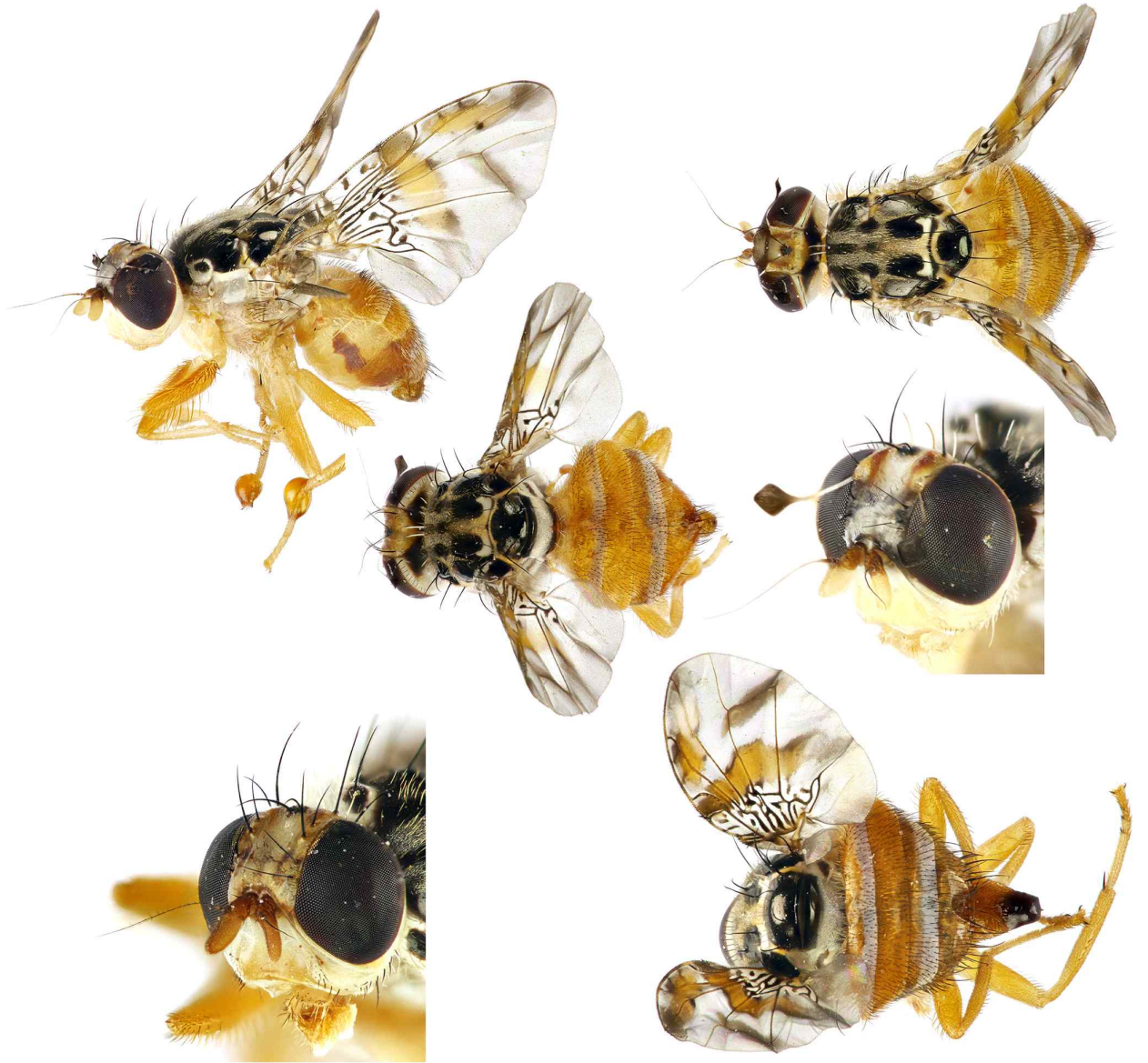


그림 51. 지중해과실파리(*Ceratitis capitata*)의 수컷(1~2줄) 및 암컷(아랫줄). 머리의 암수이형 주목. Photos by H.-Y. Han.

52. *Ceratitis (Pterandrus) rosa* Karsch, 1887

국명: 나탈과실파리(신칭)

영명: Natal fruit fly

아과/족: Dacinae: Ceratitidini

*Ceratitis rosa* Karsch 1887: 22. — Mozambique. Delagoa Bay. HT ♂ ZMHU.

*Pterandrus rosa* var. *fasciventris* Bezzi 1920: 228. — Uganda. Entebbe. ST ♂ ♀ BMNH.

*Pterandrus flavotibialis* Hering 1935: 158. — Zaire. Kivu: Rutshura [Rutshuru]. ST ♂ ♀ BMNH. ZSZMH ST destroyed.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 20위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 아프리카에 분포한다. 19개 과의 다양한 숙주식물을 가지는 다식성 해충이나 같은 속의 지중해과실파리 만큼 적응성이 뛰어나지는 않다. 국내 작물로는 귤류, 복숭아 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 독특한 날개무늬, 작은방패판 뒤 쪽에 3개의 검정 부분이 있으며, 수컷의 가운데다리 종아리마디에 검정 깃이 있는 점으로 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 몸의 바탕색이 황갈색이다. 이마센털과 안와센털은 각 2쌍이며 흑갈색이다. 방패판은 회색 가루가 질게 덮여있는 것으로 보이며, 횡단봉합선이 끝나는 부분에 1쌍의 작은 흑갈색 점이 있으며, 작은방패판 앞부분에도 1쌍의 큰 흑갈색 점이 있다. 작은방패판은 볼록하며 반짝이는 황색 바탕에 뒤쪽으로 3개의 흑색 점이 그림에서와 같이 배열되어 있다. 가슴측판과 다리는 연한 황갈색이며, 수컷의 가운데다리 종아리마디에 검정 깃이 그림과 같이 배열되어 있다. 날개 패턴은 진단부의 황색 가로띠와 기부세로띠가 떨어져 있으며, 추가적으로 DM-Cu맥을 따라 굵은 갈색띠가 있다. 복부의 길이와 너비가 비슷하며, 황갈색 바탕에 등판 3에 넓은 1쌍의 가로띠가 있거나, 전체적으로 연결된 긴 가로띠가 있다. 산란통의 색깔도 황갈색이다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Caricaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Lauraceae, Malvaceae, Moraceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Rhamnaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Solanaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤류, 복숭아 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 아프리카에 광범위하게 분포.

**유인제:** Trimedlure, terpinyl acetate.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 64개의 바코드가 입력되어 있다. *Ceratitis rosa*의 바코드는 근연종인 *C. fasciventris* 및 *C. anonae*와 구분되지 않는다.

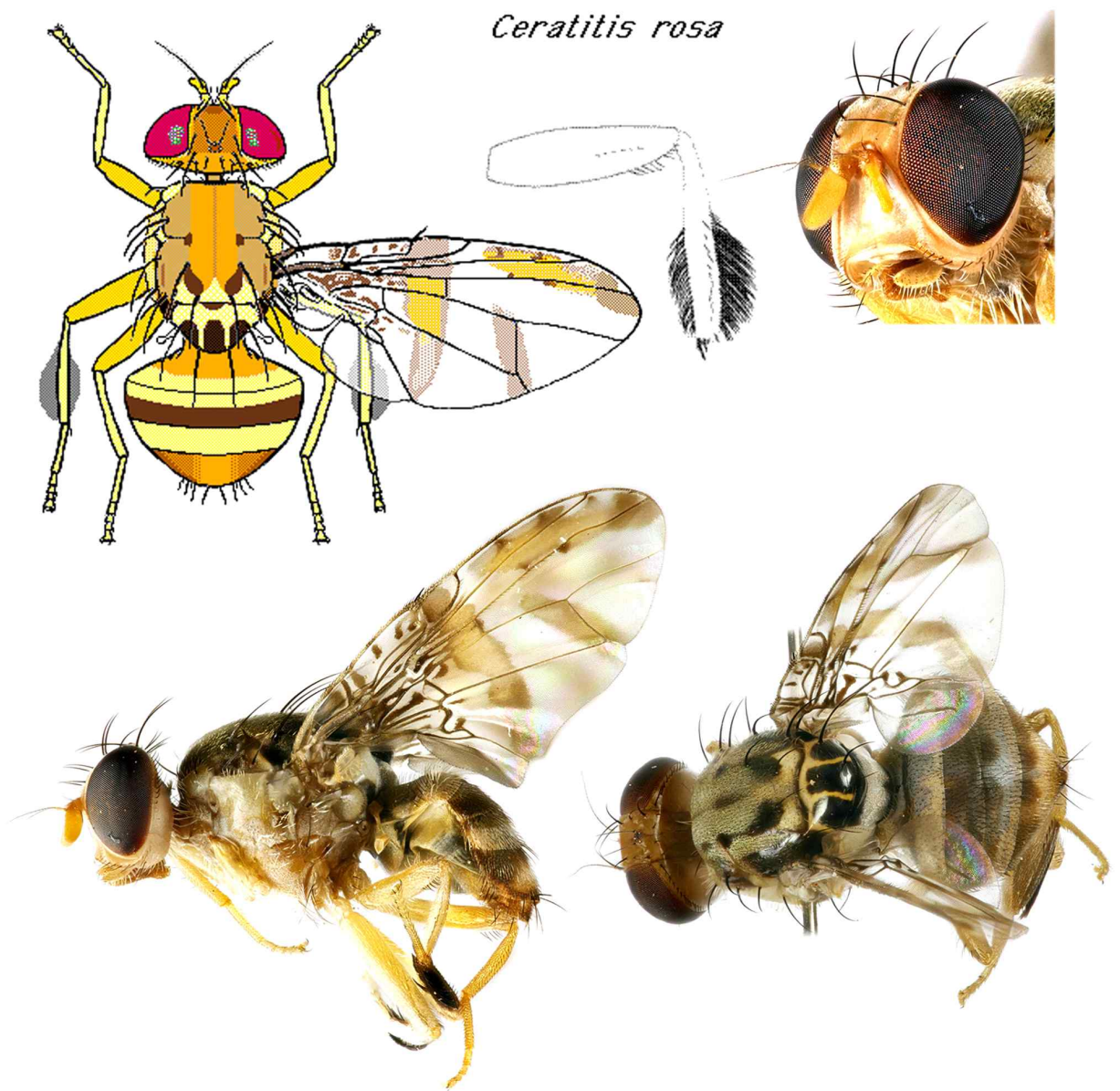


그림 52. 나탈과실파리(*Ceratitis rosa*) 수컷. Color illustration courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11). Photos by H.-Y. Han.

53. *Anastrepha fraterculus* (Wiedemann, 1830)

국명: 남미과실파리(신칭)

영명: South American fruit fly

아과/족: Trypetinae: Toxotrypanini

*Dacus fraterculus* Wiedemann 1830: 524. — Brazil. LT ♂ NMW. Lectotype designation by inference of holotype by Greene 1934: 165 (also see Loew 1873: 223, 336, Stone 1942: 79).

*Tephritis mellea* Walker 1837: 358. — Brazil. St. Paul's [Sao Paulo]. LT ♀ BMNH. Lectotype designation by inference of holotype by Foote 1964: 322.

*Trypeta unicolor* Loew 1862: 70. — New Grenada [Colombia or Venezuela]. LT ♂ MCZ. Lectotype designation by inference of holotype by Greene 1934: 165.

*Anthomyia frutalis* Weyenbergh 1874: 165. — Argentina. Cordoba. T A destroyed?. Type data (Horn & Kahle 1937: 301).

*Anastrepha fraterculus* var. *soluta* Bezzi 1909: 284. — Brazil. Sao Paulo. ST ♂ ♀ MCSNM?

*Anastrepha peruviana* Townsend 1913: 345. — Peru. Lima: Chosica, 2800 ft. HT ♀ USNM.

*Anastrepha braziliensis* Greene 1934: 154. — Brazil. Minas Gerais: Vicosia. HT ♀ USNM. Type data (Stone 1942: 79).

*Anastrepha costarukmanii* Capoor 1954: 214. — Brazil. Minas Gerais: Itajuba. HT ♀ IOC.

*Anastrepha scholae* Capoor 1955: 27. — Brazil. Bahia: Agua Preta. LT ♀ IOC. Lectotype designated by Zucchi 1981: 290.

*Anastrepha pseudofraterculus* Capoor 1955: 28. — Brazil. Rio de Janeiro: Itatiaia. LT ♀ IOC. Lectotype designated by Zucchi 1981: 290.

*Anastrepha lambayecae* Korytkowski & Ojeda 1968: 63. — Peru. Lambayeque: Chiclayo, Chumbenique, 255 m. HT ♂ UPRG.

*Anastrepha fraterculus* var. *intensa* Blanchard 1941: 60. — Nomen nudum.

*Anastrepha fraterculus* var. *retracta* Hayward 1941: 95. — Nomen nudum. Attributed to Blanchard.

*Anastrepha fraterculus* f. *acidusiformis* Rosillo 1953: 101. — Nomen nudum. Attributed to Blanchard.

*Anastrepha fraterculus* “variacion” *intermissa* Blanchard 1961: 319. — Nomen nudum. not stated [Argentina]. T A IPV. Form or variety proposed after 1960.

*Anastrepha fraterculus* “variacion” *intensa* Blanchard 1961: 319. — Nomen nudum. not stated [Argentina]. T A IPV. Form or variety proposed after 1960.

*Anastrepha fraterculus* “variacion” *retracta* Blanchard 1961: 319. — Nomen nudum. not stated [Argentina]. T A IPV. Form or variety proposed after 1960.

*Anastrepha fraterculus* “variacion” *ethaleiforme* Blanchard 1961: 320. — Nomen nudum. not stated [Argentina]. T A IPV. Form or variety proposed after 1960.

*Anastrepha fraterculus* “variacion” *tipica* Blanchard 1961: 319. — Nomen nudum.



not stated [Argentina]. T A IPV. Form or variety proposed after 1960.  
*Anastrepha fraterculus* “variacion” *acidusaeformis* Blanchard 1961: 320. —  
 Nomen nudum. not stated [Argentina]. T A IPV. Form or variety proposed  
 after 1960.  
*Anastrepha fraterculus* “variacion” *subtipica* Blanchard 1961: 320. — Nomen  
 nudum. not stated [Argentina]. T A IPV. Form or variety proposed after  
 1960.  
*Anastrepha costa-rukmanii* Capoor 1954: 214. — incosp. *costarukmanii* Capoor.  
 Automatic correction under Art. 32(d).  
*Anastrepha costa-bukmanii* Capoor 1954: 214. — incosp. *costarukmanii* Capoor.  
 Automatic correction under Art. 32(d).  
*Anastrepha pseudo-fraterculus* Capoor 1955: 28. — incosp. *pseudofraterculus*  
 Capoor. Automatic correction under Art. 32(d).  
*Anastrepha peruana* Rosillo 1953: 101. — missp. *peruviana* Townsend.  
*Anastrepha costaruckmanii* Foote 1967: 9. — missp. *costarukmanii* Capoor.  
*Anastrepha fratelculus* Dirlbek & Dirlbekova 1973: 128. — missp. *fraterculus*  
 Wiedemann.  
*Anastrepha distans*: Greene 1934: 149. — misid. See Stone 1942: 79.  
*Anastrepha suspensa*: Lima 1934: 501. — misid. See Stone 1942: 79.  
*Anastrepha distans*: Greene 1934: 149. — misid. See Stone 1942: 79.  
*Anastrepha suspensa*: Korytkowski & Ojeda 1968: 65. — misid.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 15위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 미국 남부와 중남미에서 다양한 식물을 가해하는 다식성 해충이며,  
 국내 작물로는 귤, 체리, 복숭아 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 아직 종문제가 해결되지 않았으며, 복수의 잠재종을 포함하고 있  
 을 것으로 생각된다(Plant Health Australia, 2016). 외형적으로는 *A. obliqua* 및  
*A. suspensa*와 유사하며, 특히 *A. obliqua*와 매우 비슷하다. 일반적으로는 산란  
 관이 약간 더 길며, 하소순판(subscutellum)의 양 옆이 어두운 색을 띠는 점으로  
*A. obliqua*와 구분한다.

**성충형질:** 머리는 황갈색에 4-5쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지니며, 홑눈센  
 털은 매우 짧다. 방패판은 황갈색 바탕에 중앙부에 가늘며 뒤쪽에서 넓어지는 백  
 색 세로띠가 있으며, 횡단봉합선(transverse suture) 이후 측면을 따라 1쌍의 가  
 는 백색띠가 작은방패판까지 연결된다. 어깨돌기와 작은방패판은 백색이다. 작은  
 방패판(subscutellum)의 양 옆이 어두운 색을 띠는 세로 띠가 있다. 날개에는  
 전형적인 갈색에서 황갈색의 *Anastrepha* 패턴이 있으며 V-띠가 S-띠에 연결되  
 지 않는다. 복부는 황갈색이며 암컷 산란통은 앞쪽 복부 전체 길이의 4/5 정도이  
 다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 135쪽, Pest fruit flies of the world,  
[www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 다음 19개 식물과의 다양한 숙주를 가해하는 다식성 해충 -  
 Actinidiaceae, Anacardiaceae, Annonaceae, Combretaceae, Ebenaceae,  
 Fabaceae, Juglandaceae, Lauraceae, Lythraceae, Malvaceae, Moraceae,  
 Myrtaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae,  
 Sapotaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤, 체리, 복숭아 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가

해할 수 있다.

**분포:** 미국남부(남부 텍사스)에서 중남미를 걸쳐 아르헨티나 북부까지 광범위하게 분포.

**유인제:** 암모니아 트랩에 약하게 유인될 수 있음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 150개 이상의 바코드가 입력되어 있다. 바코드로 근연종인 *A. distincta*, *A. obliqua* 또는 *A. suspensa*와 구분할 수 없다. 또 다른 근연종인 *A. ludens*는 독립적인 클러스터를 이루므로 구분된다. DNA 바코드 보다 좀 더 민감한 유전자 표지를 사용하여야 하며, 근연종들과의 종 문제의 해결이 이루어져야 할 것으로 본다.

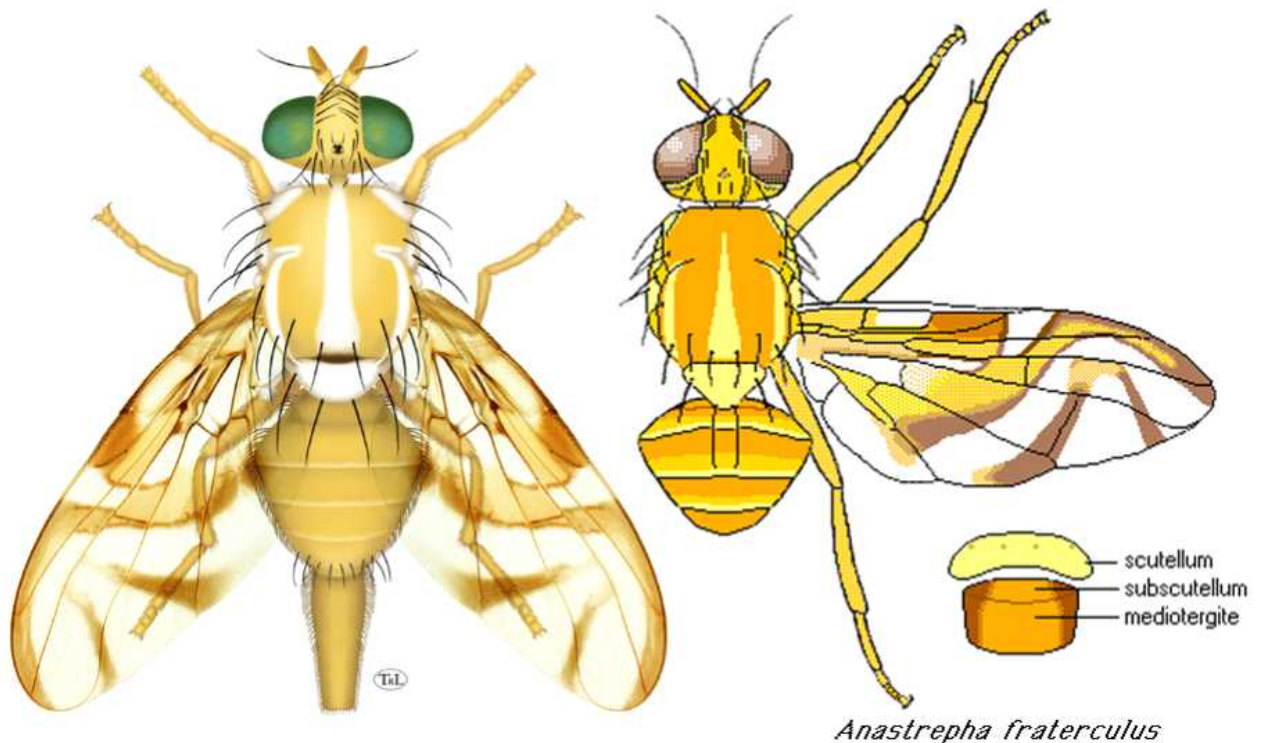


그림 53. 남미과실파리(*Anastrepha fraterculus*) 암컷 및 수컷. Drawings courtesy of Norrbom et al., *Anastrepha & Toxotrypana*, <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> (as of 2019/11).

54. *Anastrepha grandis* (Macquart, 1846)

국명: 남미호박과실파리(신칭)

영명: South American cucurbit fruit fly

아과/족: Trypetinae: Toxotrypanini

*Tephritis grandis* Macquart 1846: 340. — Nouvelle-Grenade [Colombia or Venezuela]. LT ♀ UMO. Lectotype designated by Norrbom 1991: 119.

*Anastrepha schineri* Hendel 1914: 69. — Bolivia. T ♂ MNM.

*Anastrepha latifasciata* Hering 1935: 227. — Brazil. Santa Catarina. HT ♀ PAN.

*Anastrepha schineri* Hendel 1914: 19. — Bolivia. La Paz: Coroica [Coroico].

HT ♂ MNM. Preocc. Hendel 1914: 69.

**검역해충 등급제안:** 관리해충 - **기존등급:** 금지

**등급분류 근거:** 이 종은 현재 금지해충으로 지정되어 있으나, 해충성과 제한된 분포 범위로 볼 때, 관리급으로 격하할 필요가 있다. 남미에서 박과식물을 가해하며 분포도 비교적 제한된 편이나, 도입 시 제주도의 박과식물을 가해할 가능성이 없지 않다.

**진단형질:** 매우 긴 암컷의 산란통과, 전체적으로 황색을 띠는 점, 특히 날개 전단부의 황갈색 무늬가 전부 넓게 가로로 연결되어 있는 것이 특징이다. DNA 바코드로도 다른 종들과 구분된다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 4쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지니며, 홑눈센털은 안와센털의 반이 되지 않는다. 방패판은 황갈색 바탕에 중앙부에 가늘며 뒤쪽에서 넓어지는 백색 세로띠가 있으며, 횡단봉합선(transverse suture) 이후 측면을 따라 1쌍의 백색띠가 작은방패판에 연결된다. 또한 어깨돌기 뒤쪽으로 흑갈색 띠가 이어지며 이는 횡단봉합선 주면에서 사라졌다가 다시 작은방패판 앞쪽까지 길게 이어져 끝난다. 어깨돌기와 작은방패판은 백색이며, 작은방패판과 방패판 사이 중앙에 흑갈색 점이 있다. 일반적으로 날개날개 전단부의 황갈색 무늬가 전부 1자로 연결되어 있다. 또한 V-띠는 형성되지 않으며 DM-Cu맥 주변에만 황갈색 무늬가 있고 S-띠에 연결되어있지 않다. 복부는 전체적으로 황갈색이며, 암컷 산란통은 앞쪽 복부 길이의 1.5배 이상으로 매우 길다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 박과(Cucurbitaceae)와 도금양과(Myrtaceae) 식물을 가해.

**가해 가능한 국내작물:** 국내에서는 제주도의 박과식물을 가해할 수 있다.

**분포:** 베네주엘라, 브라질, 아르헨티나에 걸쳐 분포하며 타 지역으로 침입한 기록은 없다.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 10개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 바코드로 다른 종들과 쉽게 구분되며 바코드 거리가 0.5% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 확실하다.

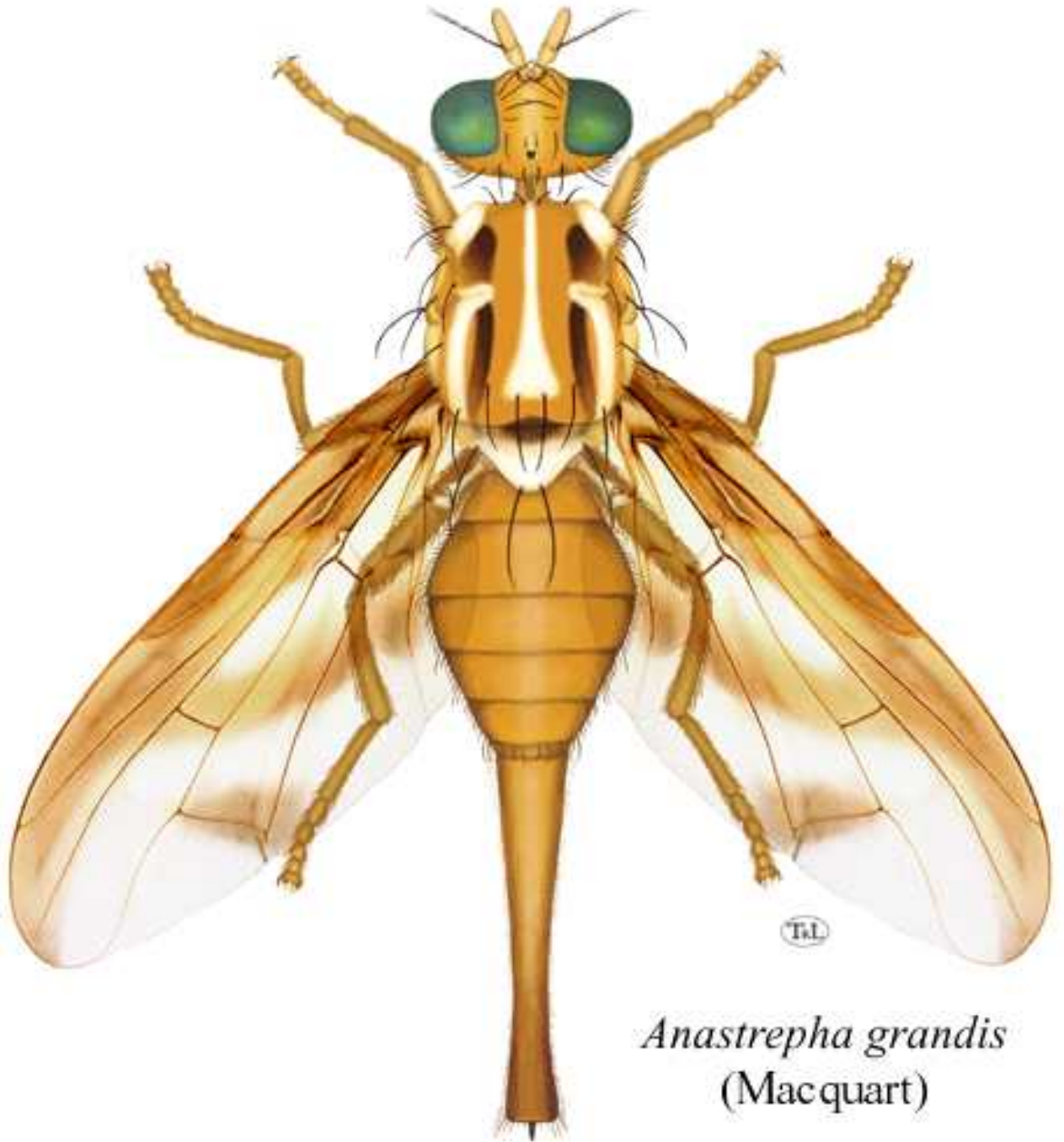


그림 54. 남미호박과실파리(*Anastrepha grandis*) 암컷. Drawing courtesy of Norrbom et al., *Anastrepha & Toxotrypana*, <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> (as of 2019/11).

55. *Anastrepha ludens* (Loew, 1873)

국명: 멕시코과실파리(신칭)

영명: Mexican fruit fly

아과/족: Trypetinae: Toxotrypanini

*Trypeta ludens* Loew 1873: 223. — Mexico. Lectotype♂ NMW. Lectotype designated by Foote, Blanc & Norrbom 1993: 98.

*Anastrepha lathana* Stone 1942: 105. — Mexico. Morelos: Cuernavaca. Holotype ♀ USNM.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 17위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 남미에서 미국의 텍사스 주까지 분포한다. 다양한 식물을 가해하는 다식성 해충이며, 국내 작물로는 귤, 복숭아 등을 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 매우 긴 암컷의 산란통과, 전체적으로 황색을 띠는 점, 날개무늬 등으로 다른 종들과 쉽게 구분이 된다. DNA 바코드로도 다른 종들과 구분된다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 4쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지니며, 홑눈센털은 안와센털의 반이 되지 않는다. 방패판은 황갈색 바탕에 중앙부에 가늘며 뒤쪽에서 넓어지는 황색 세로띠가 있으며, 횡단봉합선(transverse suture) 이후 측면을 따라 1쌍의 가는 황색 띠가 작은방패판에 연결된다. 어깨돌기와 작은방패판은 황색이다. 일반적으로 작은방패판에 1쌍의 흑색 점이 있다. 일반적으로 날개의 V-띠는 앞쪽으로는 희미해 지며, S-띠에 연결되어있지 않다. 복부는 전체적으로 황갈색이며, 암컷 산란통은 앞쪽 복부 길이의 1.5배 정도 된다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 141쪽 참조.

**숙주범위:** 다양한 과를 가해하는 다식성 해충 - Anacardiaceae, Annonaceae, Caricaceae, Clusiaceae, Ebenaceae, Lauraceae, Lythraceae, Myrtaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sapotaceae (상세한 숙주목록은 [www.cabi.org](http://www.cabi.org) 참조할 것).

**가해 가능한 국내작물:** 귤류, 복숭아 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 미국(남부 텍사스)에서 멕시코 및 코스타리카까지 분포.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 87개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 바코드 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 0.5% 이내로 일치하는 개체들의 동정이 확실한 것으로 사료되며, 근연종인 *A. fraterculus*, *A. distincta*, *A. obliqua* 또는 *A. suspensa*와 구분된다.

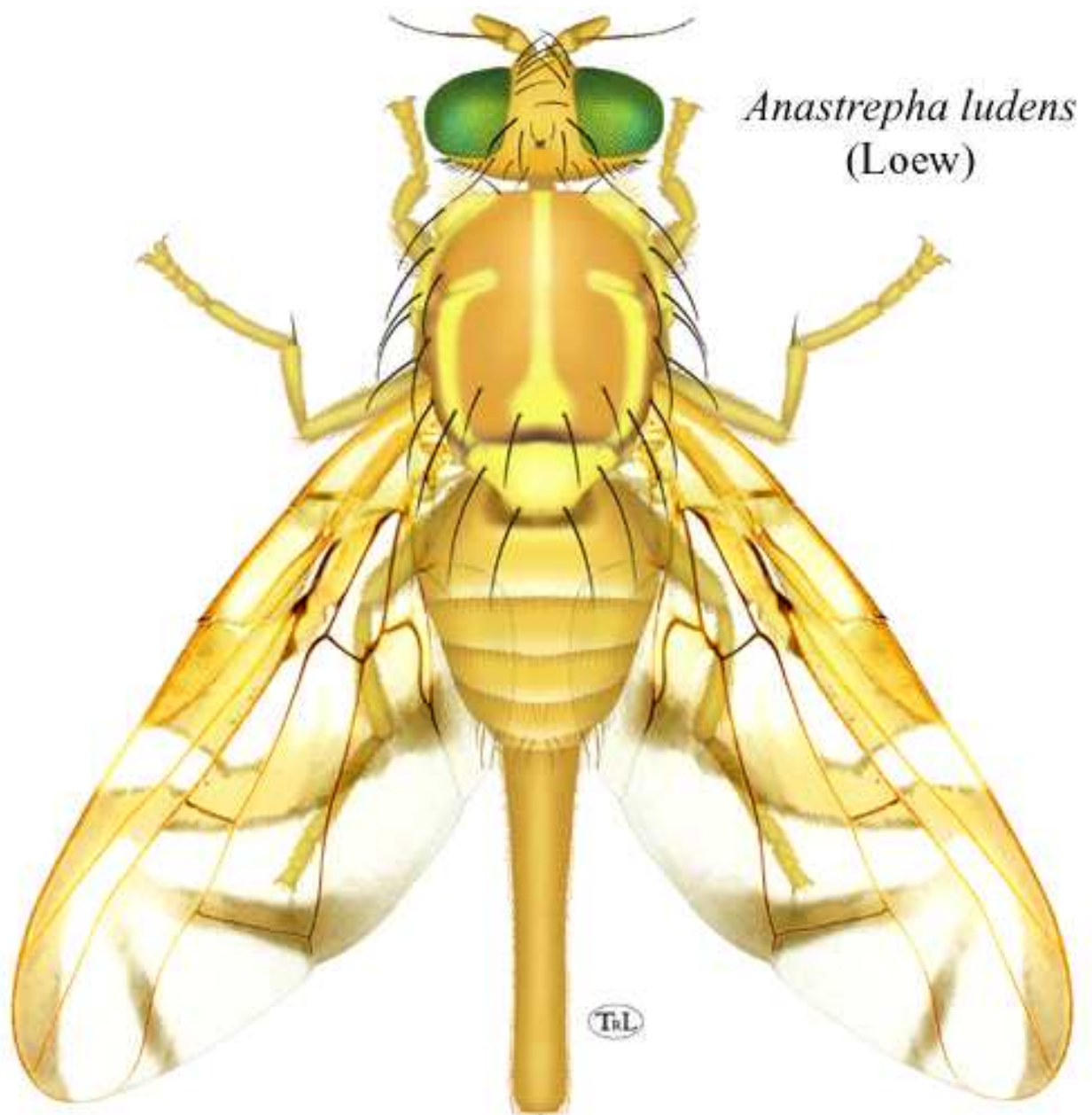


그림 55. 멕시코과실파리(*Anastrepha ludens*)의 암컷 및 날개. Drawing courtesy of Norrbom et al., *Anastrepha & Toxotrypana*, <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> (as of 2019/11).

56. *Anastrepha obliqua* (Macquart, 1835)

국명: 서인도제도과실파리(신칭)

영명: West Indian fruit fly

아과/족: Trypetinae: Toxotrypanini

*Tephritis obliqua* Macquart 1835: 464. — Cuba. Lectotype ♀ MNHNP.  
Lectotype designation by inference of holotype by Steyskal 1975: 357.

*Anastrepha fraterculus* var. *mombinpraeoptans* Sein 1933: 187. — Puerto Rico.  
Rio Piedras. Holotype ♀ USNM.

*Anastrepha fraterculus* var. *ligata* Lima 1934: 552. — Brazil. Rio de Janeiro.  
Syntype ♂♀ CPARJ ♂.

*Anastrepha trinidadensis* Greene 1934: 161. — Trinidad. Tabaquite. Holotype ♀  
USNM. Type data (Stone 1942: 69).

*Anastrepha fraterculus* var. *mombinpraeoptera* Phillips 1946: 106. — missp.  
*mombinpraeoptans* Sein.

*Anastrepha mombimpreoptans* Mena 1965: 13. — missp. *mombinpraeoptans*  
Sein.

*Anastrepha ethalea*: Greene 1934: 161. — misid. See Stone 1942: 68.

*Anastrepha acidusa*: Greene 1934: 162. — misid. See Stone 1942: 68.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 36위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 중남미에서는 망고나 구아바를 주로 가해하는 비교적 경미한 해충  
으로 알려져 있으나, 그 외에도 다양한 숙주식물의 기록이 있다. 다식성 해충이  
므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 외형적으로 *A. fraterculus* 및 *A. suspensa*와 유사하다. 그러나  
이 종의 산란관 말단부 양 옆의 톱니가 다른 종들 보다 훨씬 많은 점으로 구분  
된다. 또한 방패판과 작은방패판 사이와, 작은방패밑판에 흑색 점이 없는 것으로  
도 구분할 수 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 4쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지니며, 홑눈센  
털은 매우 짧다. 방패판은 황갈색 바탕에 중앙부에 가늘며 뒤쪽에서 넓어지는 백  
색 세로띠가 있으며, 횡단봉합선(transverse suture) 이후 측면을 따라 1쌍의 가  
는 백색띠가 작은방패판에 연결된다. 어깨돌기와 작은방패판은 백색이다. 날개에  
는 전형적인 갈색에서 황갈색의 *Anastrepha* 패턴이 있으며 V-띠가 가늘게 S-  
띠에 연결되어 있다. 복부는 황갈색이며 암컷 산란통은 앞쪽 복부 길이의 2/3 정  
도이다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참  
조.

**숙주범위:** 구아바의 비교적 경미한 해충으로 알려져 있으며, 다양한 과의 식물들을  
가해한 기록이 있는 다식성 해충 - Anacardiaceae, Ebenaceae, Malpighiaceae,  
Moraceae, Myrtaceae, Oxalidaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rubiaceae,  
Rutaceae, Sapotaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 노지재배작물의 해충으로 알려져 있지는 않으나, 다식  
성 해충이므로 주의할 필요가 있다.

**분포:** 베네주엘라, 트리니다드, 브라질, 페루.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 135 개의 바코드가 입력되  
어 있다. 그러나 이들은 *A. fraterculus*, *A. distincta*, *A. obliqua*, *A. suspensa*의

바코드 염기서열과 구분이 되지 않는다. 또 다른 근연종인 *A. ludens*는 독립적인 클러스터를 이루므로 분리된다. 바코드보다 좀 더 민감한 유전자 표지를 사용하여야 하며, 근연종들과의 종 문제의 해결이 이루어져야 할 것으로 본다.

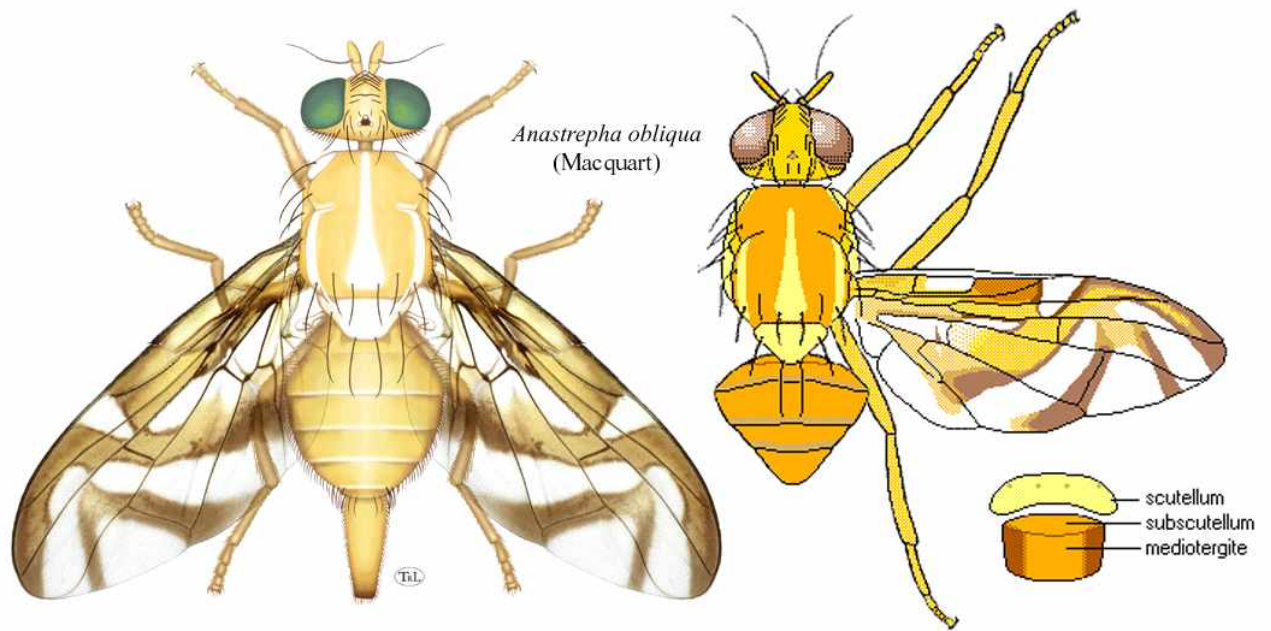


그림 56. 서인도제도과실파리(*Anastrepha obliqua*)의 암컷 및 수컷. Drawings courtesy of Norrbom et al., *Anastrepha & Toxotrypana*, <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> (as of 2019/11).



**57. *Anastrepha serpentina* (Wiedemann, 1830)**

국명: 사포테과실파리(신칭)

영명: Sapote fruit fly

아과/족: Trypetinae: Toxotrypanini

*Dacus serpentinus* Wiedemann 1830: 521. — Brazil. T♀ NMW. Type data (Loew 1873: 227).

*Urophora vittithorax* Macquart 1851: 259. —“l’Indie” [error, neotropical]. T♀ UMO.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 37위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 미국 남부에서 중남미까지 분포하며, 국내 작물로는 굴류를 가해할 가능성이 있다. 일반적으로 심각한 해충으로는 취급되지는 않으나, 다식성 해충이므로 검역적으로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 전형적인 *Anastrepa*속의 날개무늬를 갖고 있으나, 무늬 자체가 매우 어두운 색인 점과 특이한 방패판과 배 등판의 무늬로 다른 종들과 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 4쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 매우 짧다. 방패판은 흑갈색 바탕에 중앙에 가늘며 뒤쪽에서 확연히 넓어지는 백색 세로띠가 있으며, 이 가로띠의 가는 부분 양 옆으로는 넓은 갈색 테두리가 있다. 횡단봉합선(transverse suture) 이후 측면을 따라 1쌍의 백색 가로띠가 작은방패판 측면과 연결된다. 작은방패판은 흑갈색 기부 1/3 정도를 제외하고 백색이다. 복부는 흑갈색 바탕에 2번 등판 말단부에 넓은 백색 가로띠가 있으며, 3-5번 등판의 넓은 세로띠들과 연결되어 백색 버섯 무늬를 형성한다. 암컷 산란통은 앞쪽 복부의 길이보다 약간 더 길다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 152쪽 참조.

**숙주범위:** 다음 8개 과를 가해한 기록이 있다 - Annonaceae, Clusiaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Rosaceae, Rutaceae, Sapotaceae (상세한 숙주목록은 [www.cabi.org](http://www.cabi.org) 참조할 것).

**가해 가능한 국내작물:** 굴류 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 미국(남부 텍사스), 멕시코 북부에서 페루 및 아르헨티나 북부까지 분포.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 26개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 1%이내로 바코드 거리가 일치하면 안심하고 동정할 수 있다.

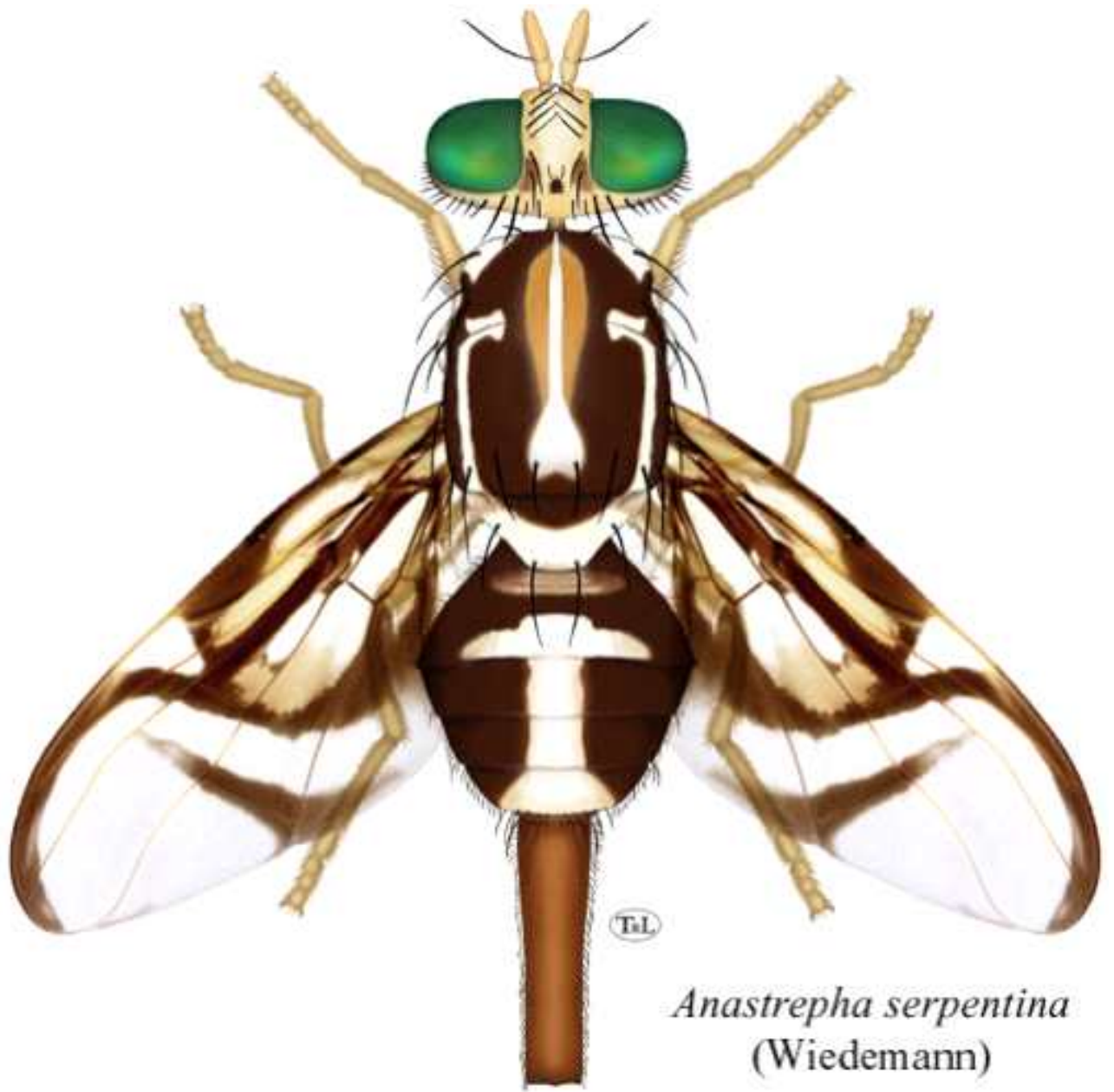


그림 57. 사포테과실파리(*Anastrepha serpentina*)의 암컷 및 날개. Drawing courtesy of Norrbom et al., *Anastrepha & Toxotrypana*, <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> (as of 2019/11).

**58. *Anastrepha striata* Shiner, 1868**

국명: 신세계구아바과실파리(신칭)

영명: Guava fruit fly

아과/족: Trypetinae: Toxotrypanini

*Anastrepha striata* Schiner 1868: 264. — South America [Venezuela].

LT/NMW.Suspension of I.C.Z.N. rules required to validate usage. Lectotype designation by inference of holotype by Hardy 1968: 136.

*Dictya cancellaria* Fabricius 1805: 328. — America meridionali [Guyana]. T A UZMC. In interest of stability, the authors reject this valid prior name. Type data (Zimsen 1964: 494). N. Syn. of *Anastrepha striata* Schiner (Norrbom et al. 1999: 82).

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 57위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 중남미에서는 구아바의 해충으로 알려져 있으며, 그 외에도 다양한 식물을 가해한 기록이 있다. 한국의 노지재배되는 식물종을 가해한 기록은 없으나 다식성 해충이므로 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 방패판에 명확한 흑갈색 무늬(어깨돌기 뒤쪽의 넓은 반점 + 횡단봉합선 이후 U자형의 넓은 띠)로 쉽게 구분될 수 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 4쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지니며, 홑눈센털은 매우 짧다. 방패판은 황갈색 바탕에 중앙부에 가늘며 뒤쪽에서 넓어지는 백색 세로띠가 있으며, 횡단봉합선 이후 측면을 따라 1쌍의 가는 백색띠가 있다. 어깨돌기와 작은방패판은 백색이다. 또한 어깨돌기 뒤쪽에 넓은 흑갈색 반점과 횡단봉합선 이후 U자형의 넓은 띠가 있어 근연종들과 쉽게 구분된다. 날개에는 전형적인 갈색에서 황갈색의 *Anastrepha* 패턴이 있으며 V-띠가 S-띠에 연결되어 있지 않다. 복부는 황갈색이며 암컷 산란통은 갈색이며 앞쪽 복부 길이와 비슷하다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 157쪽, Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 남미에서 주로 구아바의 해충으로 알려져 있으나 다음 과들의 다양한 숙주를 가해하는 다식성 해충이다 - Anacardiaceae, Annonaceae, Combretaceae, Ebenaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Myrtaceae, Rosaceae, Rutaceae, Sapotaceae

**가해 가능한 국내작물:** 다식성 해충이므로 주의할 필요가 있다.

**분포:** 미국 나무(텍사스 남부)에서 멕시코, 중미를 거쳐 페루, 볼리비아, 브라질까지 분포.

**유인제:** 암모니아 트랩에 약하게 유인될 수 있음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 33개체를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내로 바코드 거리가 일치하는 개체들의 동정이 확실하다.

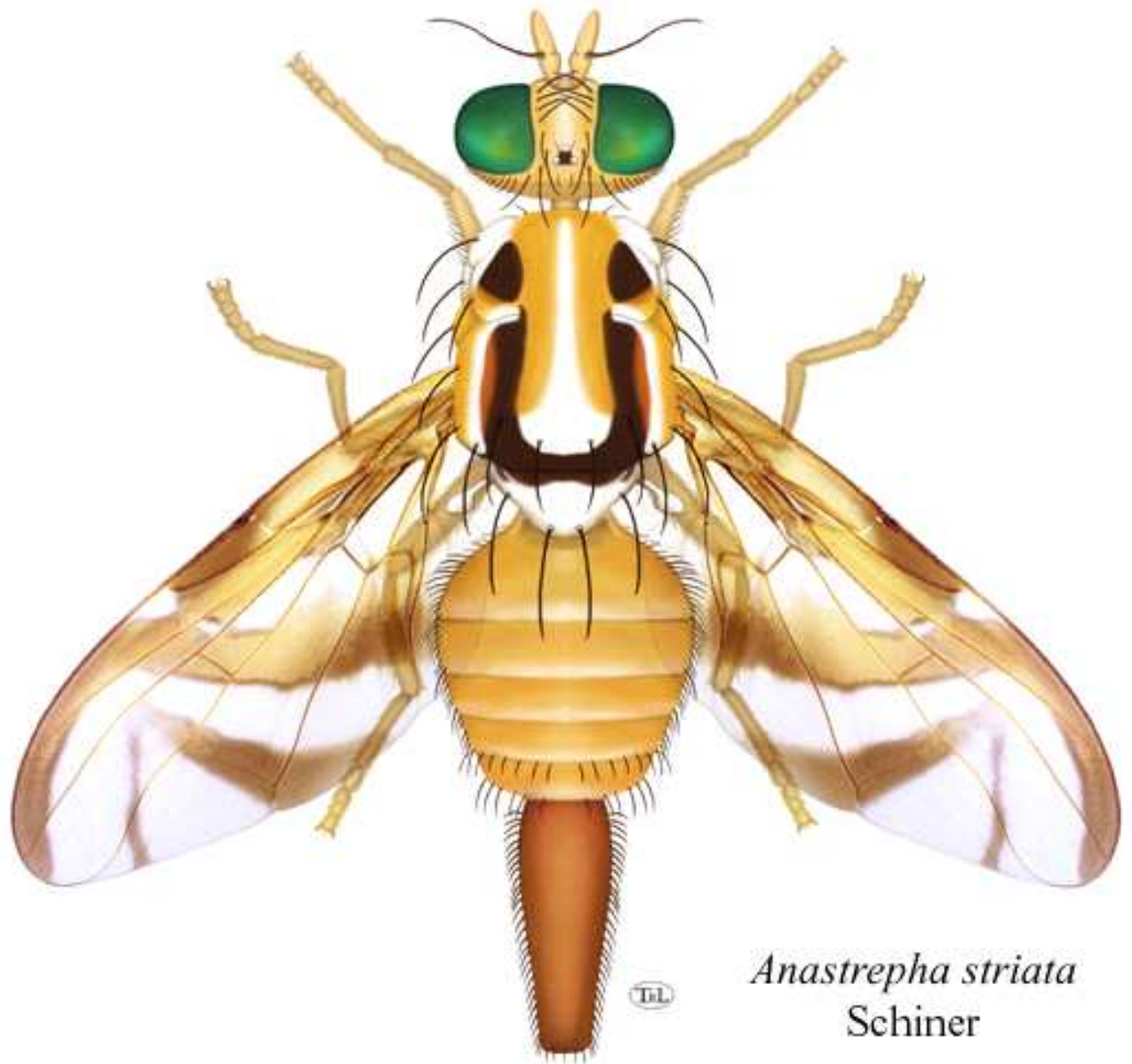


그림 58. 신세계구아바과실파리(*Anastrepha striata*) 암컷. Drawing courtesy of Norrbom et al., *Anastrepha & Toxotrypana*, <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> (as of 2019/11).

59. *Anastrepha suspensa* (Loew, 1862)

국명: 카리브해과실파리(신칭)

영명: Caribbean fruit fly

아과/족: Trypetinae: Toxotrypanini

*Trypeta suspensa* Loew 1862: 69. — Cuba. Lectotype ♂ MCZ. Lectotype designation by inference of holotype by Greene 1934: 148.

*Anastrepha unipuncta* Sein 1933: 190. — Puerto Rico. Rio Piedras. Holotype ♀ USNM.

*Anastrepha longimacula* Greene 1934: 146. — Jamaica. Hope [Botanical Gardens, Kingston]. Holotype ♀ USNM.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 14위급 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 카리브해의 섬들에 분포하며, 미국 플로리다까지 도입된 바 있다. 다양한 작물을 가해하는 다식성 해충이며, 국내 작물로는 복숭아를 가해할 수 있다.

**진단형질:** 이 종은 외형적으로 *A. fraterculus* 및 *A. obliqua*와 유사하여 구분이 힘들다. 그러나 방패판과 작은방패판 사이에 중앙으로 흑색 점이 있는 것으로 구분할 수 있다. *A. fraterculus*도 간혹 이 점이 나타나지만 크기가 작은 것으로 구분할 수 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 4쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지니며, 홑눈센털은 매우 짧다. 방패판은 황갈색 바탕에 중앙에 가늘며 뒤쪽에서 넓어지는 백색 세로띠가 있으며, 방패판은 황갈색 바탕에 중앙부에 가늘며 뒤쪽에서 넓어지는 백색 세로띠가 있으며, 횡단융합선(transverse suture) 이후 측면을 따라 1쌍의 가는 백색띠가 작은방패판에 연결된다. 어깨돌기와 작은방패판은 백색이나 방패판과 작은방패판 사이에 중앙으로 작은 흑색 점이 있다. 날개에는 전형적인 갈색에서 황갈색의 *Anastrepha* 패턴이 있으며 V-띠가 가늘게 S-띠에 연결되어 있다. 복수는 황갈색이며 암컷 산란통은 앞쪽 복부 길이의 3/4 정도이며 말단부가 흑갈색이다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

**숙주범위:** 중남미에서 cherimoya, 꿀류, Surinam cherry, 복숭아, guava, rose apple 등의 중요한 해충으로 알려져 있으며, 다음의 다양한 과들을 가해한 기록이 있는 다식성 해충 - Actinidiaceae, Anacardiaceae, Annonaceae, Combretaceae, Ebenaceae, Fabaceae, Juglandaceae, Lauraceae, Lythraceae, Malvaceae, Moraceae, Myrtaceae, Oleaceae, Oxalidaceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Sapotaceae, Vitaceae.

**가해 가능한 국내작물:** 귤, 복숭아 등. 다식성 해충이므로 다른 작물들도 가해할 수 있다.

**분포:** 미국 남부에서 아르헨티나 북부까지 분포하며 갈라파고스 군도에 도입되었다.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 128 개의 바코드가 입력되어 있다. 그러나 이들은 *A. fraterculus*, *A. distincta*, *A. obliqua*의 바코드 염기서열과 구분이 되지 않는다. 또 다른 근연종인 *A. ludens*는 독립적인 클러스터를 이루므로 분리된다. 바코드보다 좀 더 민감한 유전자 표지를 사용하여야 하며, 근연종들과의 종 문제의 해결이 이루어져야 할 것으로 본다.

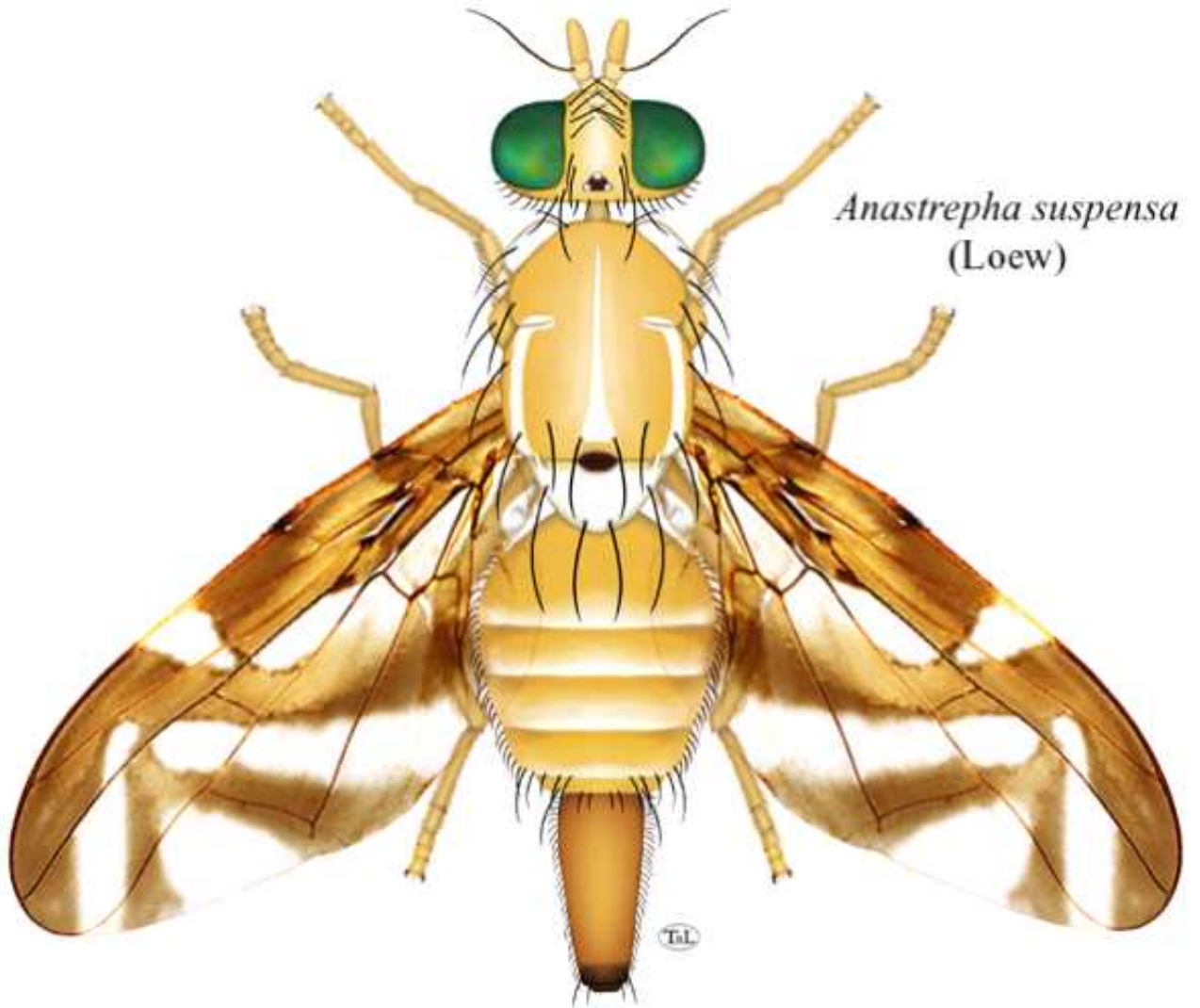


그림 59. 카리브해과실파리(*Anastrepha suspensa*)의 암컷. Drawing courtesy of Norrbom et al., *Anastrepha & Toxotrypana*, <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm> (as of 2019/11).

**60. *Carpomyia pardalina* Bigot, 1891**

국명: 러시아참외과실파리(신칭)

영명: Russian Melon flies

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Carpomyia pardalina* Bigot 1891: 51. — Beloutchistan [Iran or Pakistan. Baluchistan]. ST ♂ ♀ UMO.

*Carpomyia caucasica* Zaitzev 1919: 64. — East Transcaucasia [Azerbaijan?], Dzhevanshir region, Areshsk territory, Elisavetn region & North Mugan. ST ♂ ♀ ZIL?

*Myiopardalis carpalina* Fletcher 1920: 45. — missp. *pardalina* Bigot.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 19위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 이집트와 코카서스지방에서 인도 서부까지 분포하며 오이와 참외, 수박의 해충이다. 분포 기후대로 볼 때, 침입 시 국내에 정착할 위험성이 높다.

**진단형질:** 독특한 가슴과 날개의 무늬로 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 몸체는 전체적으로 황갈색 바탕에 백색 또는 검정색 무늬가 있으며, 센털을 검정색, 털은 황백색이다. 머리는 황갈색이며, 3쌍(간혹 4쌍)의 이마센털과, 2쌍의 안와센털이 있으며, 홑눈센털은 안와센털의 길이와 비슷하다. 방패판은 황갈색 바탕에 그림과 같이 9개의 검은 반점과, U자형의 백색 띠가 뒤쪽으로 1쌍 있다. 작은방패판은 백색바탕에 양 옆과 중앙에 흑색 반점이 있다. 옆판은 전체적으로 황갈색이며, 어깨판 부터 날개 앞쪽까지 백색 띠가 있으며, 후흉상·하옆등판도 백색이다. 다리는 전체적으로 황갈색이다. 날개는 투명하며 기부 중앙부는 황갈색이며, 중앙부는 전연문(pterostigma)에서 애널로브 중앙까지 황갈색에 갈색테두리가 있는 세로띠가 있으며, 말단부에는 역전된 V-자 모양의 띠가 있다. 복부는 전체적으로 황갈색이며 무늬가 없다. 암컷의 산란통은 황갈색이며 바로 앞쪽 두 마디와 길이 가 비슷하다.

**유충형질:** 자료 없음.

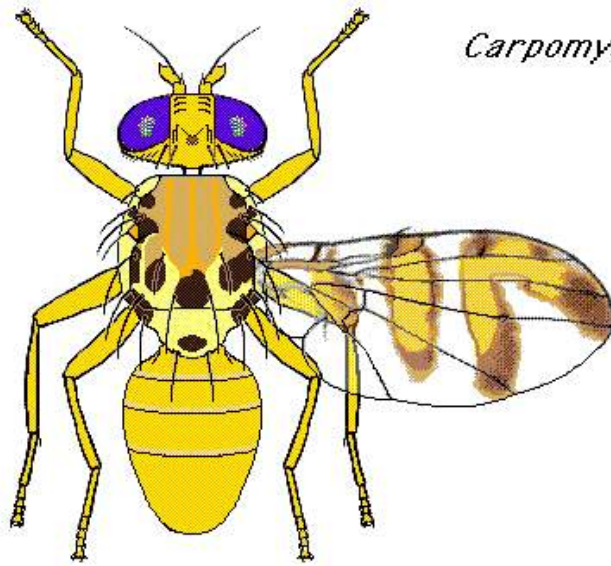
**숙주범위:** 박과식물(열매).

**가해 가능한 국내작물:** 오이, 참외, 수박 등 박과식물(열매).

**분포:** 이집트, 코카서스에서 인도 서부까지.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 5개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다.



*Carpomya pardalina*



*Carpomya pardalina*

그림 60. 러시아참외과실파리(*Carpomya pardalina*) 윗줄 수컷, 아랫줄 암컷. Images courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).



61. *Rhagoletis cerasi* (Linnaeus, 1758)

국명: 유럽양벚과실파리

영명: Cherry fruit fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Musca cerasi* Linnaeus 1758: 600. — [France?]. Lectotype A Reaumur.

Lectotype designated by White 1987: 102, specimen of Reaumur 1737, pl. 38, fig. 23.

*Trypeta signata* Meigen 1826: 332. — Not stated [Europe]. Syntype ♂ ♀ MNHNP. NMW Syntype from Megerle probably destroyed (Pont 1986).

*Urophora liturata* Robineau-Desvoidy 1830: 771. — France. Holotype Dejean.

*Urophora cerasorum* Dufour 1845: 212. — France. T A MNHNP? Attributed to Redi 1671 (nonbinominal).

*Rhagoletis cerasi* f. *obsoleta* Hering 1936: 182. — Germany. Berlin-Frohnau. Holotype ♂ BMNH.

*Rhagoletis cerasi* spp. *fasciata* Rohdendorf 1961: 180. — Russia. Volgogradskaya: Sarepta. Holotype ♀ ZISP.

*Rhagoletis cerasi* ssp. *nigripes* Rohdendorf 1961:180. — Tadzhikistan. 60 km. from Zaamin, Turkestan range, Gurolash. Holotype ♀ ZISP.

*Tephritis ceraci* Persson 1958: 111. — missp. *cerasi* Linnaeus.

*Musca solstitialis*: Sulzer 1776: 216. — misid.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 39위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 유럽에서 양벚나무 열매를 가해하는 주요 해충이며, 분포구역의 기 후가 한국과 유사하므로 침입 시 정착할 확률이 크다.

**진단형질:** 이 종은 날개의 독특한 패턴으로 다른 *Rhagoletis* 종들과 쉽게 구분할 수 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색에서 연한 황색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 전체적으로 흑색이며 어깨돌기에서 날개 밑까지 넓은 백색의 띠가 있으며, 작은방패판도 백색이다. 날개는 투명하며 말단부에 기억자의 넓은 띠가 있으며, 기부와 중앙부에는 각각 굵은 세로띠가 있다. 다리는 대체로 황갈색이나, 넓적다리 마디들은 흑갈색이다. 복부등판과 암컷 산란통은 흑색이다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

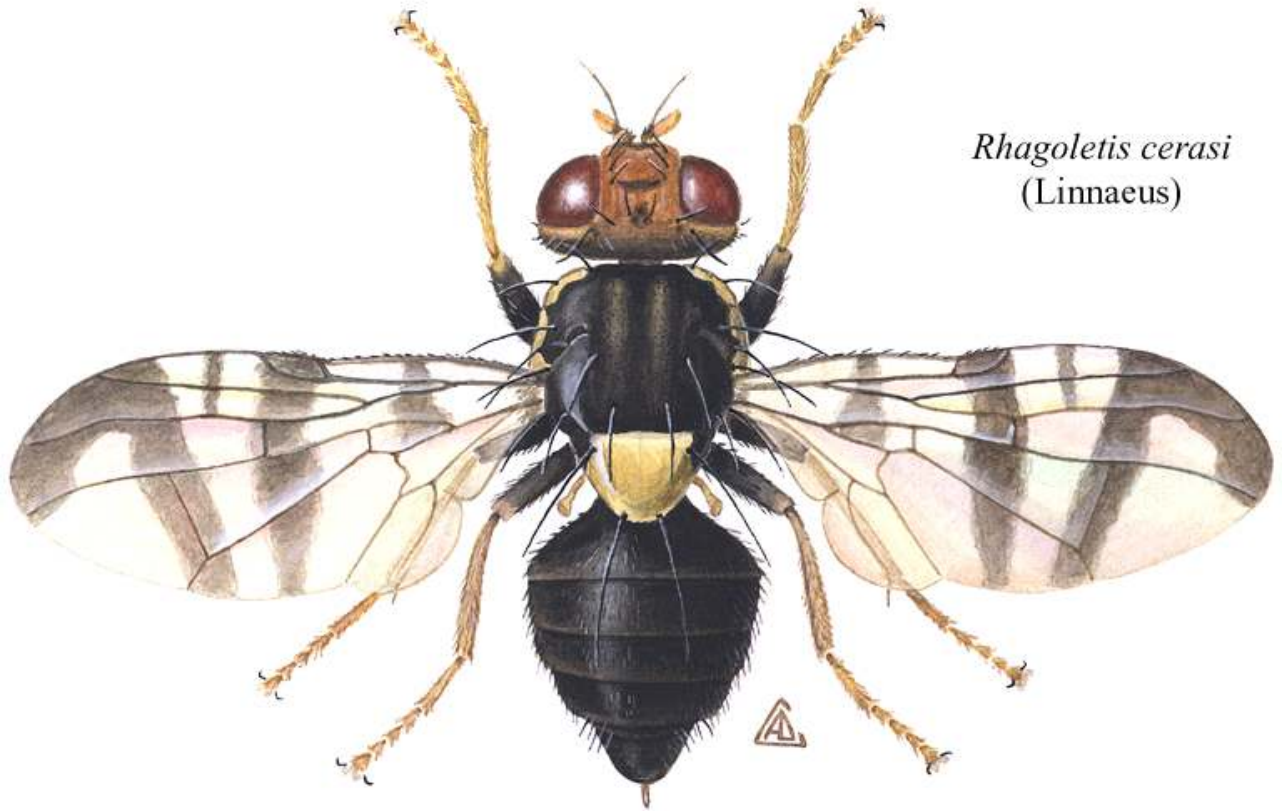
**숙주범위:** Caprifoliaceae (*Lonicera* spp.), family Rosaceae (*Prunus* spp.)를 가해.

**가해 가능한 국내작물:** 국내 도입 시 한반도 전역에서 월동이 가능하며, 야생기주도 많이 분포한다. 양벚나무의 주요 해충임.

**분포:** 영국을 제외한 유럽 및 서부 시베리아에서 코카서스 지방과 중앙아시아까지 분포.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 27개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 바코드 거리가 0.5% 이내로 일치하는 개체들의 명확한 동정이 가능한 것으로 사료된다.



*Rhagoletis cerasi*  
(Linnaeus)

그림 61. 유럽양벚과실파리(*Rhagoletis cerasi*), 암컷. Drawing courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).

## 62. *Rhagoletis cingulata* (Loew, 1862)

국명: 체리과실파리(신칭)

영명: Cherry fruit fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Trypeta cingulata* Loew 1862: 76. — USA. “Middle States”. T ♀ MCZ. Type data (Bush 1966: 473).

*Ortalis cerasi*: Harris 1835: 600. — misid. See Bush 1966: 473.

*Trypeta pomonella*: Cook 1889: 152. — misid. See Foote et al. 1993: 341.

*Rhagoletis cingulata* ssp. *indifferens*: Padilla 1964: 9. — misid. See Foote 1981: 48.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제2급 38위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 북미에서 양벚나무 열매를 가해하는 주요 해충이며, 분포구역의 기후가 한국과 유사하므로 침입 시 정착할 확률이 크다. 실제로 스위스와 이태리에 정착하였다.

**진단형질:** 위쪽에서 보면 방패판은 검정색, 작은방패판은 황색이며, 각 복부등판은 검정색이며 후단부에 좁은 황백색 가로띠가 있다. 날개무늬는 *R. indifferens*와 매우 비슷하나, 수컷의 제5 복부등판의 후단부 황백색 부분을 *R. indifferens*에서는 찾아볼 수 없다. 추가적으로 *R. cingulata*는 말단부의 날개무늬가 진단까지 잘라져 말단 반점을 이루는 표본들이 훨씬 많은 점으로도 어느 정도 구분된다.

**성충형질:** 약 4~5mm의 과실파리로서, 머리는 황갈색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 전체적으로 흑색이며 어깨돌기에서 날개 밑까지 넓은 황백색의 띠가 있으며, 작은방패판도 황백색이다. 다리는 대체로 황갈색이다. 날개는 투명하며 기부와 중간부에 흑갈색 세로띠가 있으며, 말단에는 DM-Cu맥을 통과하는 F-모양의 띠가 있다. 각 복부등판은 검정색이며 후단부에 좁은 황백색 가로띠가 있다. 암컷 산란통은 흑색이며 바로 앞쪽 복부마디보다 길다.

**유충형질:** 자료 없음.

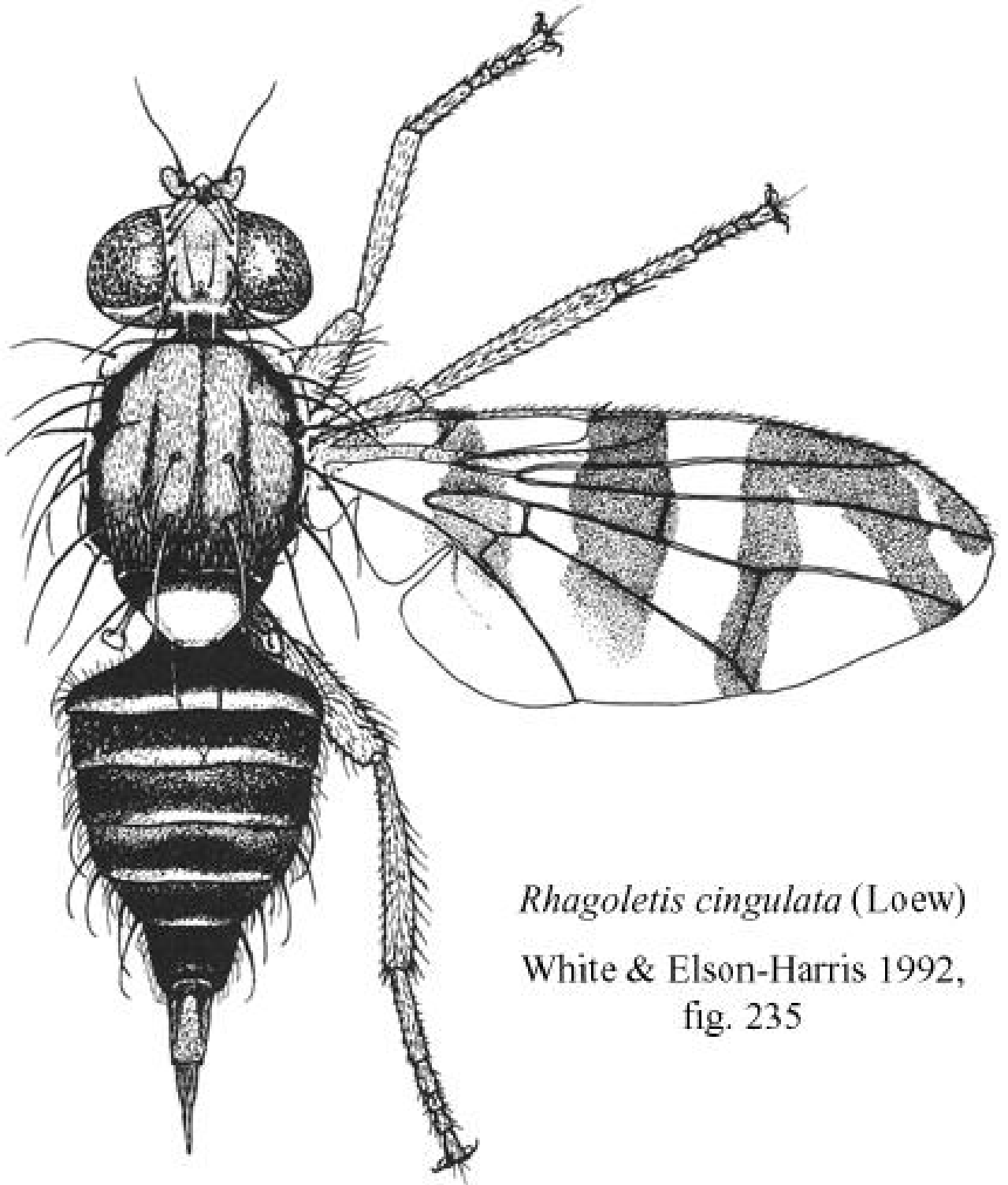
**숙주범위:** 주로 양벚나무를 가해하는 주요 해충이다.

**가해 가능한 국내작물:** 양벚나무.

**분포:** 캐나다에서 중부 멕시코까지 넓게 분포; 스위스와 북부 이태리에 도입됨.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 40개 이상의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 근연종인 서부양벚과실파리(*R. indifferens*)와 단일 클러스터를 이루며, 바코드 서열로 구분할 수 없다.



*Rhagoletis cingulata* (Loew)

White & Elson-Harris 1992,  
fig. 235

그림 62. 체리과실파리(*Rhagoletis cingulata*), 암컷. Drawing from White & Elson-Harris (1992).

**63. *Rhagoletis completa* Cresson, 1929**

국명: 남방호두과실파리(신칭)

영명: Walnut husk fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Rhagoletis suavis* ssp. *completa* Cresson 1929: 412. — USA. California: San Bernardino Co., Chino. HT ♂ ANSP.

*Rhagoletis juglandis*: Boyce 1929: 269. — misid. See Foote et al. 1993: 341.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제2급 40위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 멕시코와 미국(미네소타 남쪽) 원산으로 유럽 남부에 정착한 기록이 있다. 한국 남부에도 정착이 가능한 해충으로 사료된다. 실제로 스위스와 이탈리아에 정착하였다.

**진단형질:** 날개에 기부 반문, 굵은 중간세로띠, DM-Cu맥을 통과하는 역 V-자형 말단띠가 있어 쉽게 구분되며, 중간띠와 말단띠는 간혹 접촉되어 있는 것들도 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 황오렌지색이며 어깨판과 작은방패판은 황백색이다. 날개는 투명하며, 기부반문, 굵은 중간세로띠와 DM-Cu맥을 통과하는 역 V-자형 말단띠가 있어 쉽게 구분된다. 중간띠와 말단띠는 간혹 접촉되어 있는 것들도 있다. 복부는 황오렌지색 바탕이며, 제3등판 이후의 등판들은 기부가 넓게 흑갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

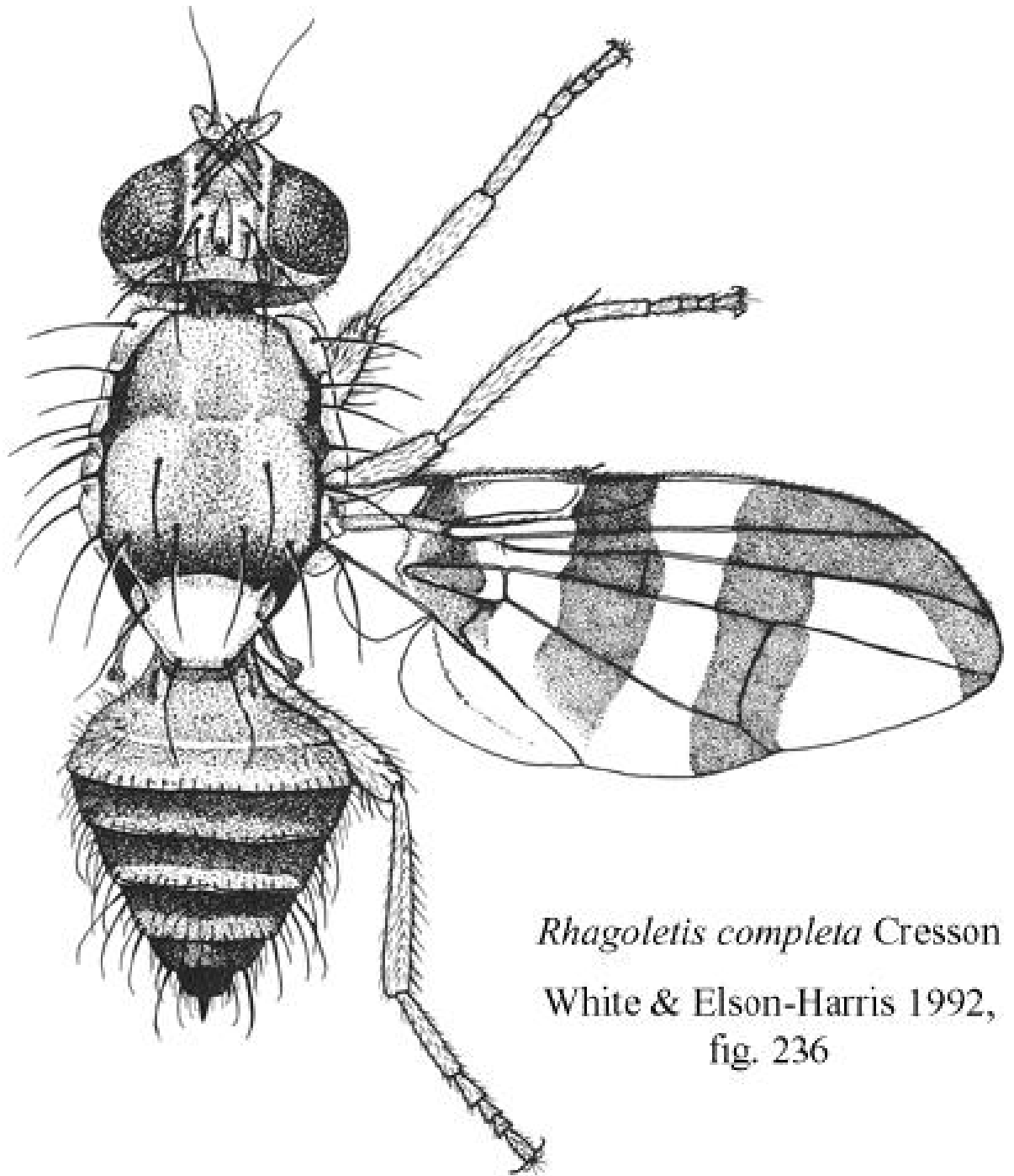
**숙주범위:** 호두의 해충이며, 다음 두 과의 식물들을 가해한 기록이 있다 - Juglandaceae, Rosaceae

**가해 가능한 국내작물:** 호두나무.

**분포:** 미국(미네소타 남쪽)과 멕시코; 스위스와 북부 이탈리아에 도입됨

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 29개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 근연종인 *R. zoqui* 및 *R. ramosae* 와 단일 클러스터를 이루며, 구분되지 않는다.



*Rhagoletis completa* Cresson  
White & Elson-Harris 1992,  
fig. 236

그림 63. 남방호두과실파리(*Rhagoletis completa*), 암컷. Drawing from White & Elson-Harris (1992).

64. *Rhagoletis fausta* (Osten Sacken, 1877)

국명: 블랙체리과실파리(신칭)

영명: Black cherry fruit fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Trypeta fausta* Osten Sacken 1877: 346. — USA. New Hampshire: Mt. Washington, alpine region. LT ♀ MCZ. Lectotype designated by Bush 1966: 518.

*Rhagoletis intrudens* Aldrich 1909: 70. — Canada. British Columbia: Victoria. HT ♀ USNM.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 55위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 북미에서 양벚나무 열매의 주요 해충이다. 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 날개에 좁은 기부세로띠, 굽은 중간세로띠, DM-Cu맥을 통과하는 역 F-자형 말단띠가 있으며, 중간띠와 말단띠는 후반부에서 넓게 접촉이 되며 말단띠는 DM-Cu맥 바로 앞에 원형의 투명한 점이 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 전체적으로 흑색이며 어깨들기에서 날개 밑까지 넓은 황백색의 띠가 있으며, 작은방패판도 황백색이다. 다리는 넓적다리마디들이 끝부분을 제외하고 흑갈색이며, 종아리마디와, 발목마디들은 전부 황갈색이다.. 날개는 투명하며, 좁은 기부세로띠, 굽은 중간세로띠, DM-Cu맥을 통과하는 역 F-자형 말단띠가 있으며, 중간띠와 말단띠는 후반부에서 넓게 접촉이 되며 말단띠는 DM-Cu맥 바로 방에 원형의 투명한 점이 있다. 복부는 전체적으로 흑색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

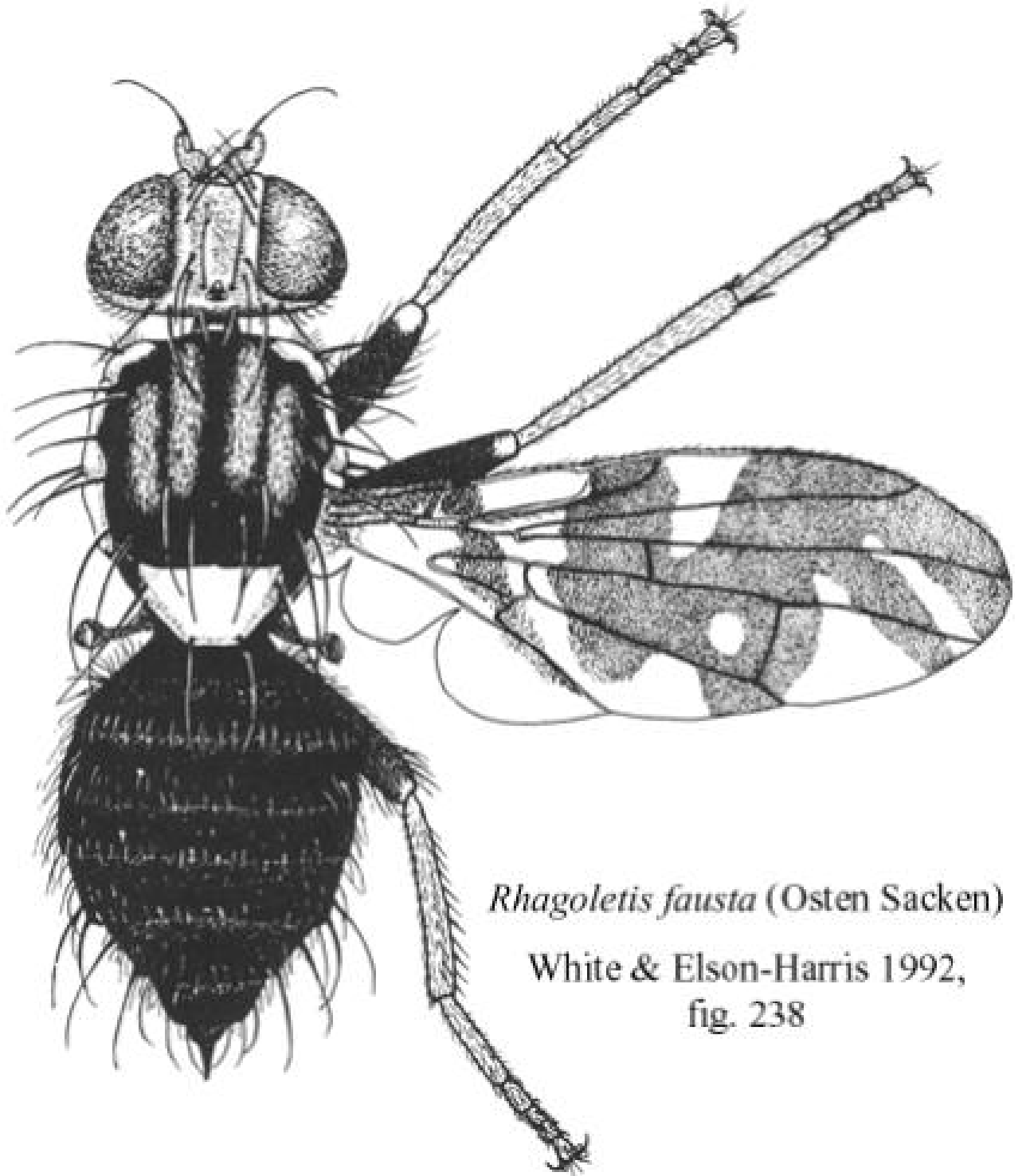
**숙주범위:** 장미과의 식물들을 가해하며, 양벚나무의 주요 해충이다.

**가해 가능한 국내작물:** 양벚나무.

**분포:** 미국, 캐나다.

**유인제:** 알려져 있지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 10개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다.



*Rhagoletis fausta* (Osten Sacken)

White & Elson-Harris 1992,  
fig. 238

그림 64. 블랙체리과실파리(*Rhagoletis fausta*) 암컷. Drawing from White & Elson-Harris (1992).



65. *Rhagoletis indifferens* Curran, 1932

국명: 서부양벚과실파리

영명: Western cherry fruit fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Rhagoletis indifferens* Curran 1932: 8. — USA. Oregon: Hood River. HT ♂ AMNH.

*Rhagoletis cingulata*: Wilson & Lovett 1913: 160. — misid.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제3급 54위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 북미에서 양벚나무 열매의 주요 해충이다. 스위스에 침입 및 정착했던 기록이 있으며, 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 위쪽에서 보면 방패판은 검정색, 작은방패판은 황색이며, 각 복부등판은 검정색이며 수컷의 제5등판을 제외하고 후단부에 좁은 황백색 가로띠가 있다. 날개무늬는 *R. cingulata*와 매우 비슷하나, 수컷의 제5 복부등판의 후단부 황백색 부분을 *R. cingulata*에서는 찾아볼 수 있다. 추가적으로 *R. cingulata*는 말단부의 날개무늬가 진단까지 잘라져 말단 반점을 이루는 표본들이 훨씬 많은 점으로도 어느 정도 구분된다.

**성충형질:** 약 4~5mm의 과실파리로서, 머리는 황갈색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 전체적으로 흑색이며 어깨돌기에서 날개 밑까지 넓은 황백색의 띠가 있으며, 작은방패판도 황백색이다. 다리는 대체로 황갈색이다. 날개는 투명하며 기부와 중간부에 흑갈색 세로띠가 있으며, 말단에는 DM-Cu맥을 통과하는 F-모양의 띠가 있다. 각 복부등판은 검정색이며 후단부에 좁은 황백색 가로띠가 있다(수컷의 제5등판을 제외). 암컷 산란통은 흑색이며 바로 앞쪽 복부마디보다 길다.

**유충형질:** 자료 없음.

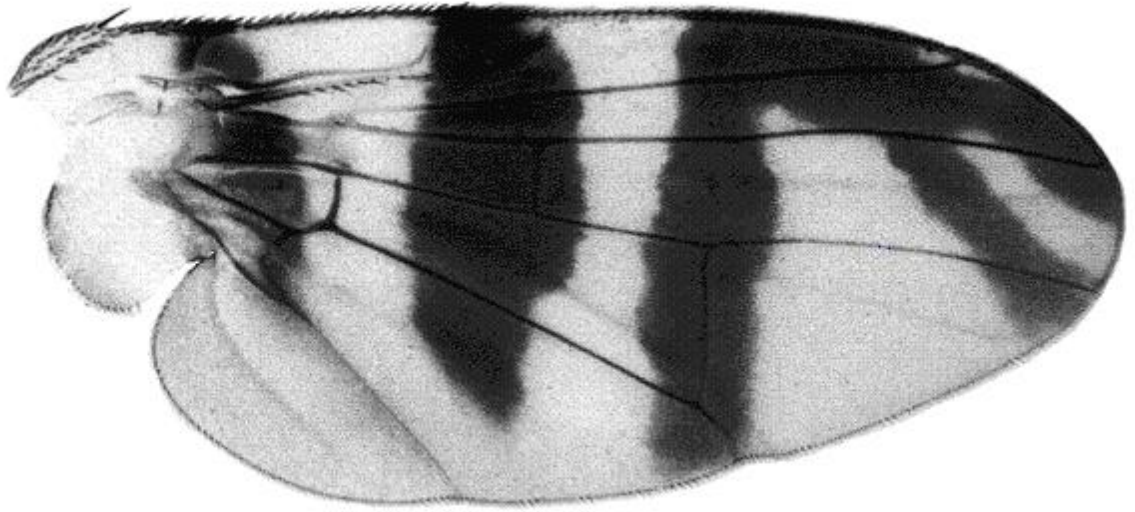
**숙주범위:** 장미과의 식물들을 가해하며, 양벚나무의 주요 해충이다.

**가해 가능한 국내작물:** 양벚나무.

**분포:** 캐나다와 미국.

**유인제:** 알려져 있지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 5개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 근연종인 *R. cingulata*와 단일 클러스터를 이루며, 바코드 서열로 구분할 수 없다.



*Rhagoletis indifferens*

그림 65. 서부양벧과실파리(*Rhagoletis indifferens*), 날개. Image courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).

66. *Rhagoletis mendax* (Curran, 1932)

국명: 블루베리과실파리(신칭)

영명: Blueberry maggot fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Rhagoletis mendax* Curran 1932: 7. — USA. Maine. HT ♂ AMNH.

*Rhagoletis pomonella*: Britton 1906: 260. — misid. See Foote et al. 1993: 353.

**검역해충 등급제안:** 관리해충 - **기존등급:** 없음

**등급분류 근거:** 북미에서 블루베리의 주요 해충이다. 국내의 블루베리 재배농가의 증가에 따라 주목할 필요가 있다. 분포 기후대가 한국과 비슷하므로 도입 시 정착가능성이 높다.

**진단형질:** 이 종은 *R. pomonella*, *R. zephyria*, *R. cornivora*와 유사하며 *R. pomonella* 종군(species-group)을 형성한다. 이 종군은 날개에 굵은 F-패턴이 기부와 세로띠와 뒤쪽에서 넓게 만나는 점으로 *Rhagoletis* 속의 다른 종들과 구분할 수 있다. 이 종은 특히 사과과실파리(*R. pomonella*)와 매우 비슷하나 앞넓적다리마디에 어두운 무늬가 없고, 암컷의 산란삽입기가 짧은 점으로 구분한다.

**성충형질:** 머리는 황갈색에서 연한 황색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 전체적으로 흑색이며 어깨돌기에서 날개 밑까지 넓은 백색의 띠가 있으며, 작은방패판도 백색이다. 다리는 거의 황갈색이다. 날개는 투명하며 F-모양의 넓은 흑갈색 띠가 있으며 이 띠는 기부의 띠와 후단부에서 만난다. 복부등판도 흑색이나 2-5번 등판은 각각 말단부가 회백색의 분으로 덮인 가로띠를 형성한다. 암컷 산란통은 흑색이며 바로 앞쪽 복부마디보다 길다.

**유충형질:** Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) 참조.

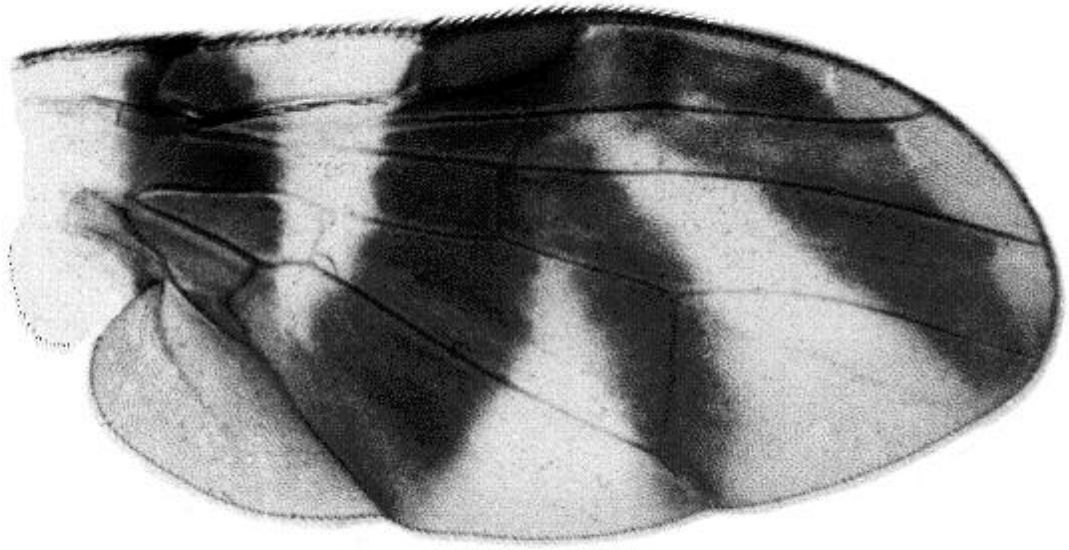
**숙주범위:** 블루베리를 포함 *Vaccinium* 속 7종.

**가해 가능한 국내작물:** 블루베리.

**분포:** 미국 동부.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 3개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 계통분석 시 근연종인 *R. pomonella* 및 *R. zephyria*와 함께 단일 클러스터를 이루며, 바코드 서열로 구분할 수 없다.



*Rhagoletis mendax*

그림 66. 블루베리과실파리(*Rhagoletis mendax*), 날개. Photo courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).

**67. *Rhagoletis pomonella* (Walsh, 1867)**

국명: 사과과실파리

영명: Apple maggot fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Trypeta pomonella* Walsh 1867: 343. — USA. Illinois. Lectotype ♀ MCZ.  
Lectotype designated by Bush 1966: 457.

*Trypeta albiscutellata* Harris 1835: 600. — Nomen nudum. T A MCZ.  
Attributed to Say; see Johnson 1925: 97.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제1급 21위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 북미에서 사과의 주요 해충이다. 분포지역의 기후가 한국과 유사하므로, 도입 시 쉽게 정착 가능한 위험해충으로 사료된다.

**진단형질:** 사과과실파리와 *R. zephyria*, *R. mendax*, *R. cornivora*는 매우 유사하며 *R. pomonella* 종군(species-group)을 형성한다. 이 종군은 날개에 굵은 F-패턴이 있는 점으로 *Rhagoletis* 속의 다른 종들과 구분할 수 있다. 사과과실파리는 근연종과는 앞다리 넓적다리마디의 뒷부분이 어두운 색을 띠는 점으로 구분할 수 있으나, 일부 표본들에서는 이 특징이 나타나지 않을 수도 있다. 또한 분포지의 북부에서 채집된 사과과실파리의 표본들은 일반적으로 근연종들보다 몸체가 크며, 암컷의 산란관(aculeus)도 길다.

**성충형질:** 머리는 황갈색에서 연한 황색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 전체적으로 흑색이며 어깨돌기에서 날개 밑까지 넓은 백색의 띠가 있으며, 작은방패판도 백색이다. 다리는 대체로 황갈색이나, 앞다리 넓적다리마디의 뒷부분, 중간 및 뒷다리 넓적다리마디 전체가 흑갈색이다. 날개는 투명하며 F-모양의 넓은 흑갈색 띠가 있으며 이 띠는 기부와 후단부에서 만난다. 복부등판도 흑색이나 2-5번 등판은 각각 말단부가 회백색의 분으로 덮인 가로띠를 형성한다. 암컷 산란통은 흑색이며 바로 앞쪽 복부마디보다 길다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 376쪽 참조.

**숙주범위:** 사과, 산사나무를 포함하는 *Malus* 및 *Crataegus* 속을 주로 가해함. 문헌상에 장미과에 속하는 많은 숙주식물이 있으나, 형태가 비슷한 근연종의 오동정일 가능성이 크다(www.cabi.org - 2016).

**가해 가능한 국내작물:** 북미에서 사과의 가장 중요한 해충으로서, 분포 및 숙주범위로 볼 때, 한국 침입 시 정착이 가능할 것으로 사료됨.

**분포:** 캐나다에서 멕시코까지 넓게 분포.

**유인제:** 종 특이적 유인제는 알려져 있지 않으나, 암모니아 트랩에 포획되기도 한다.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 27개의 바코드가 입력되어 있다. 이들은 계통분석 시 근연종인 *R. mendax* 및 *R. zephyria*와 함께 단일 클러스터를 이루며, 바코드 서열로 구분할 수 없다.



그림 67. 사과과실파리(*Rhagoletis pomonella*)의 암컷. Photos by H.-Y. Han.

68. *Rhagoletis suavis* (Loew, 1862)

국명: 호두과실파리(신칭)

영명: Walnut husk fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Trypeta suavis* Loew 1862: 75. — USA. “Middle States”. HT ♂ MCZ.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 56위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 북미에 분포하며 해충성은 남방호두과실파리에 못 미치나, 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 언뜻 보기에 *R. completa*와 비슷하나 날개 무늬로 쉽게 구분할 수 있다. 즉 중간띠와 말단띠는 항상 뒤쪽에서 연결되어 있으며, DM-Cu맥 바로 앞의 띠에 뒤쪽에서 부터 좁고 깊이 파인 부분이 있다.

**성충형질:** 머리는 황갈색이며 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 앞쪽 안와센털 만큼 길다. 뒷홑눈센털은 백색이며 길다. 가슴은 황오렌지색이며 어깨판과 작은방패판은 황백색이다. 날개는 투명하며, 기부반문, 굵은 중간세로띠와 DM-Cu맥을 통과하는 역 V-자형 말단띠가 있어 쉽게 구분된다. 중간띠와 말단띠는 항상 뒤쪽에서 연결되어 있으며, DM-Cu맥 바로 앞의 띠에 뒤쪽에서 부터 좁고 깊이 파인 부분이 있다. 복부는 황오렌지색 바탕이며, 제4등판 이후의 등판들은 기부가 넓게 흑갈색이다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 호두나무류.

**가해 가능한 국내작물:** 호두나무.

**분포:** 북미 전역.

**유인제:** 알려져 있지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 18개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루며, 0.5% 이내의 바코드 거리가 일치되는 개체들로서 동정이 가능하다.

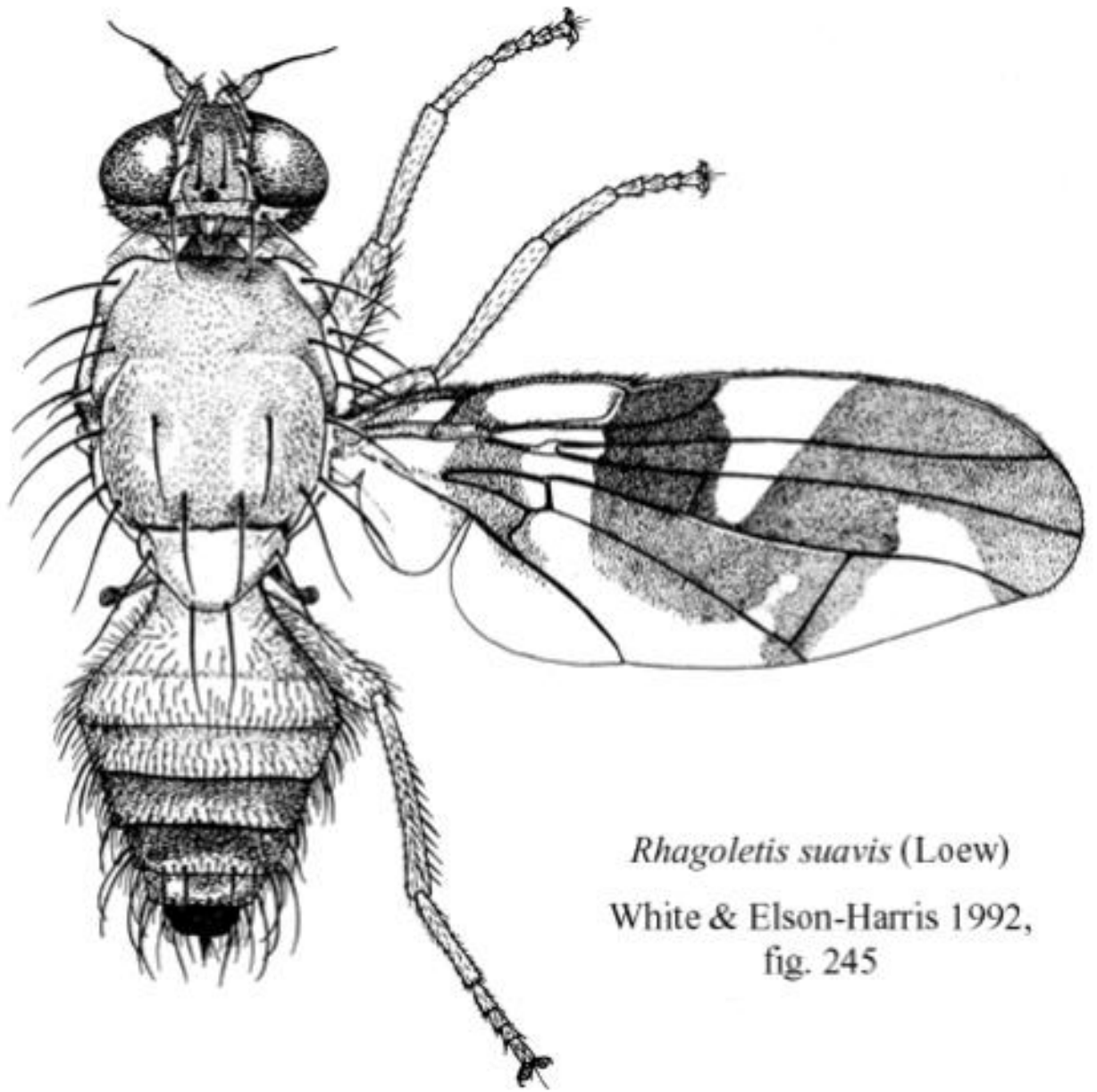


그림 68. 호두과실파리(*Rhagoletis suavis*), 암컷. Drawing from White & Elson-Harris (1992).



69. *Zonosemata electa* (Say, 1830)

국명: 고추과실파리

영명: Pepper maggot fly

아과/족: Trypetinae: Carpomyini

*Trypeta electa* Say 1830: 185. — USA. Indiana. T A ANSP (destroyed).

*Tephritis flavonotata* Macquart 1855: 145. — USA. Maryland: Baltimore. LT ♀  
UMO. Lectotype designation by inference of holotype by Stone 1951: 45.

**검역해충 등급제한:** 금지해충 제3급 59위 - **기존등급:** 금지해충

**등급분류 근거:** 북미에 분포하며 고추 및 가지를 간혹 가해하는 해충으로 알려져 있다. 한국과 비슷한 분포기후대를 가지므로 주의할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 그림에서와 같이 독특한 날개 및 몸체 패턴으로 쉽게 구분이 가능하다.

**성충형질:** 중형의 과실파리이며, 몸은 전체적으로 연갈색이며, 가슴에 황백색 및 흑갈색무늬가 있다. 센털과 털은 흑색이다. 머리는 연갈색에 3쌍의 이마센털과 2쌍의 안와센털을 지닌다. 홑눈센털은 뒤쪽 안와센털과 길이가 비슷하며, 홑눈뒷센털은 흑색이다. 방패판은 연갈색이며, 황백색의 어깨판, 횡단봉합선 앞쪽부터 작은방패판까지 이어지는 좁은 측면 세로띠, 그 중앙에 앞 뒤가 뾰족한 넓은 중앙세로띠가 있다. 작은방패판은 좁은 황갈색의 기부를 제외하고 황백색이며, 2쌍의 센털이 있다. 복부는 연갈색이며, 수컷 제5등판, 암컷 제6등판 기부 측면에 1쌍의 작은 반점이 있다. 암컷의 산란통은 연갈색이며 앞쪽 2마디와 길이가 비슷하다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 고추와 가지를 비롯한 가지과 식물의 열매.

**가해 가능한 국내작물:** 고추, 가지.

**분포:** 미국, 캐나다.

**유인제:** 알려져 있지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 4개의 바코드를 찾을 수 있다. 이들은 계통분석 시 단일 클러스터를 이루나, 개체들 간의 바코드 거리가 특이하게도 1%이내에서 비교적 큰 변이폭을 보인다. 3개의 바코드 서열이 약 300bp로 매우 짧으므로, 상온 보관 표본에서 증폭된 것으로 사료되며 염기서열 분석 시 오류가 있었던 것이 아닐까 의심된다. 나머지 1개는 정상적인 염기서열 분석이 된 것으로 사료되며, 근연종인 *Z. vittigera* 개체와 거의 동일한 서열을 보인다.

*Zonosemata electa*

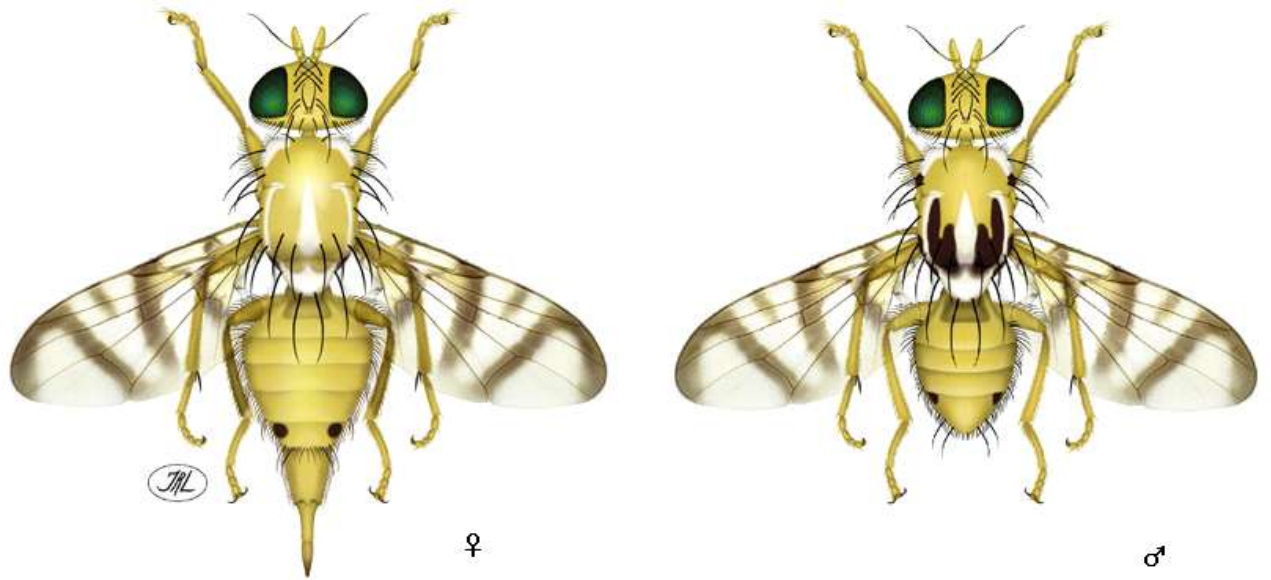


그림 69. 고추과실파리(*Zonosemata electa*), 암컷과 수컷. Drawings courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).

**70. *Acanthiophilus helianthi* (Rossi, 1794)**

국명: 홍화꽃과실파리

영명: Safflower fly

아과/족: Tephritinae: Tephritini

*Musca helianthi* Rossi 1794: 73. - Italy. "Etruria" [Tuscany?]. ST A ZMHU?  
Type data (Thompson & Pont 1993: 82).

*Trypeta eluta* Meigen 1826: 344. - France. Fontainebleau; & Niemes;  
Portugal; & Germany. Stolberg. ST ♂♀ MNHNP. Also possibly ST in  
ZMHU.

*Acanthiophilus helianthe* Bezzi 1918: 41. - missp. *helianthi* Rossi.

**검역해충 등급제안:** 한국 자생종 - 기존등급: 관리해충

**등급분류 근거:** 본 종은 한국 분포가 확인되었으므로(Han & Ro, 2018) 관리해충목록  
에서 제거할 필요가 있다. 유럽 및 중동의 다소 건조한 지역에서 채유용으로 널리  
재배하는 잇꽃(= 홍화꽃, *Carthamus tinctorius*)의 주요 해충으로 알려져 있으나,  
한국에서는 희귀하며 해충성이 증명되지 않았다.

**진단형질:** 매우 긴 산란통, 거의 투명한 날개와 말단부 앞쪽의 연회색 패턴으로 쉽게  
다른 분류군들과 구분할 수 있다.

**성충형질:** 머리는 연갈색이며 3쌍의 황회색 이마센털을 가지며, 2쌍의 안와센털을 가  
지는데, 앞의 것은 황회색 뒤의 것은 백색이다. 가슴과 복부는 전체적으로 무광택  
회백색이며 백색 털과 대체로 황회색 센털을 가진다. 방패판에는 황회색 센털들이  
있으며, 작은방패판의 기부센털을 길며, 말단부센털을 매우 짧다. 날개는 거의 전  
체적으로 투명하며 연회색의 말단부 앞쪽 무늬를 갖는다. 암컷의 산란통은 복부의  
길이와 비슷할 정도로 매우 길며, 광택이 나는 흑갈색이며 짧은 백색의 털로 덮여  
있다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 국화과의 17속 45종을 가해한 기록이 있으며, 두상화 내부를 섭식한다. 관  
련 속명 - *Acroptilon*, *Atractylis*, *Carduncellus*, *Carduus*, *Carlina*,  
*Carthamus*, *Centaurea*, *Cirsium*, *Cnicus*, *Cyanuss*, *Cynara*, *Galactites*,  
*Notobasis*, *Rhaponticum*, *Scolymus*, *Serratula*, *Volutaria*.

**가해 가능한 국내작물:** 홍화꽃.

**분포:** 유럽, 한국을 비롯한 구북구에 광범위하게 분포하며 아프리카와 동남아시아에서  
도 발견되고 있다

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 8개의 바코드를 찾을 수  
있다. 계통분석 시 단일 클러스터를 이루므로, 0.5% 이내의 바코드 거리로 쉽게  
구분될 수 있다.



그림 70. 홍화꽃과실파리(*Acanthiophilus helianthi*), 윗줄 암컷, 아랫줄 수컷. Photos by H.-Y. Han.

71. *Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758)

국명: 셀러리과실파리(신칭)

영명: Celery fly

아과/족: Trypetinae: Trypetini

*Musca heraclei* Linnaeus 1758: 600. — not stated. T A LSL. Conserved by I.C.Z.N. 1991: 181, Opinion 1645; ST lost (White 1987: 103).

*Musca onopordinis* Fabricius 1775: 787. — Daniae [Denmark]. T AUZMC? ST apparently lost (Zimsen 1964: 476).

*Musca centaureae* Fabricius 1794: 360. — Germany. Kiliae [Kiel]. T A UZMC. ST apparently lost (Zimsen 1964: 493).

*Trupanea berberidis* Schrank 1803: 144. — Germany. Bavaria: around Ingolstadt. T A Unknown.

*Forellia dauci* Robineau-Desvoidy 1830: 761. — not stated. ST ♂♀ Dejean. N. Syn. of *Euleia heraclei* (Linnaeus) (Norrbom et al., 1999: 146).

*Musca subcutanea* Turton 1801: 623. — n. n. heracalii Linnaeus 1758. Preocc. Bjerkander 1793.

*Trupanea onopordi* Schrank 1803: 144. — emend. onopordinis Fabricius.

*Trypeta heraclei* Loew 1844: 323. — emend. heracalii Linnaeus.

*Philophylla heraclei* f. *spadicea* Ito 1956: 25. — Nomen nudum. Published after 1930 without a description.

*Euleia heraclei* f. *spadicea* Ito 1984: 157. — Nomen nudum. Japan. Hokkaido: Sapporo, Isikari. HT♂ UOPJ. Former variety proposed after 1960.

*Musca heracalii* Linnaeus 1758: 600. — incosp. heraclei Linnaeus. Suppressed by I.C.Z.N. 1991: 181 opinion 1645.

*Acinia herachlei* Lioy 1864: 1026. — missp. heraclei Linnaeus.

*Euleia hercclei* Foote 1984: 88. — missp. heraclei Linnaeus. Attributed to “authors”.

*Euleia centauriae* Foote 1984: 88. — missp. centaureae Fabricius.

*Euleia heracleii* Foote 1984: 88. — missp. heraclei Linnaeus.

**검역해충 등급제안:** 관리해충 - **기존등급:** 관리해충

**등급분류 근거:** 분포범위로 볼 때, 도입 시 한국에 정착될 확률이 크다. 일반 작물로는 셀러리를 가해할 수 있으며, 산형과(Apiaceae)에 속하는 당귀 등의 약초들을 가해할 가능성이 있으므로 주의할 필요가 있다. 이 종의 분포범위로 볼 때, 한국에 실제 자생하고 있을 가능성이 있다. 본인들의 경험에 따르면, 이들은 높은 밀도로 서식하는 지역에서도 포충망으로는 매우 드물게 채집되며 박물관에 소장된 표본들은 대부분 숙주식물에서 우화시킨 것들이다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 황갈색~흑갈색이며, 흑색~흑갈색의 센털과 털을 지니고 있다. 몸의 색은 거의 황갈색을 띠는 것부터 전체적으로 흑갈색인 것까지 변이가 심하다. 센털의 배열 및 모양은 전형적인 과실파리의 특성을 보이거나, 날개의 패턴으로 다른 분류군들과 구분 가능하다.

**성충형질:** 중형의 과실파리로서, 가슴과 배는 황갈색~흑갈색으로 변이가 심하나, 머리와 다리는 항상 황갈색이다. 털은 흑색~흑갈색이다. 머리에는 길고 강한 3쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털이 있으며, 홑눈센털은 안와센털 만큼 길다. 가슴은 전형적인 과실파리의 센털 구성을 가지고 있으며, 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있는

데, 말단센털은 서로 평행하거나 약간 벌어져 있다. 날개는 투명하며 독특한 무늬가 있어 다른 종들과 쉽게 구분된다. 암컷의 산란통은 항상 흑갈색이며, 바로 앞쪽 복부 2개의 복부마디 길이보다 약간 짧다.

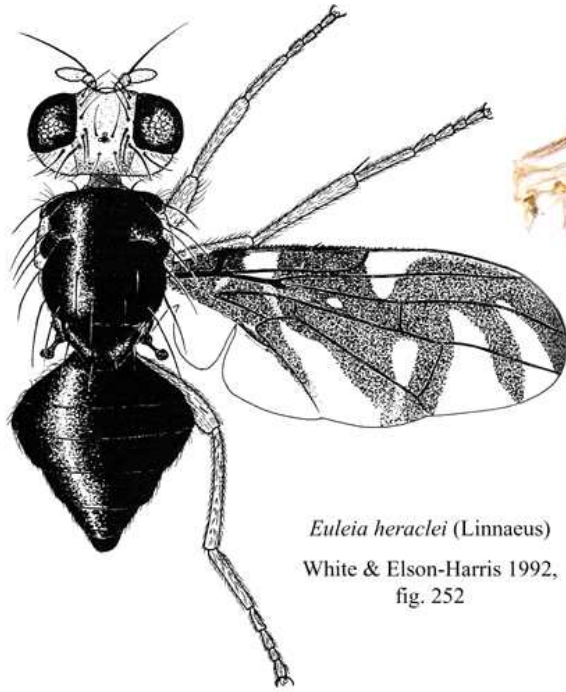
**유충형질:** Krivosheina & Ozerova (2016) 참조.

**숙주범위:** 산형과(Apiaceae)에 속하는 많은 숙주식물에 잎굴을 형성한 기록이 있음. 셀러리의 해충으로 알려짐. 국화과 식물도 간혹 가해한 기록이 있으나 날개 무늬가 유사한 잎굴파리인 *Acidia cognata*의 오동정으로 사료됨 (Han, 1998).

**가해 가능한 국내작물:** 일반 작물로는 셀러리를 가해할 수 있으며, 산형과(Apiaceae)에 속하는 당귀 등의 약초를 가해할 가능성이 큼.

**분포:** 북유럽에서 러시아 동부 및 일본까지 널리 분포하며, 북아프리카, 중동, 중앙아시아에서도 발견된다.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에 없으나, 근연종인 복미의 *E. fratria*와 *E. uncinata*는 각각 8개체 및 3개체가 등록되어 있다. 아마도 이들과 비슷한 바코드를 가질 것으로 추정된다.



*Euleia heraclei* (Linnaeus)  
White & Elson-Harris 1992,  
fig. 252



*Euleia heraclei*



*Euleia  
heraclei*



*Euleia  
heraclei*

그림 71. 셀러리과실파리(*Euleia heraclei*), 암컷. Drawing from White & Elson-Harris (1992). & Photos courtesy of Carroll et al., Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of 2019/11).

## 72. *Euphranta canadensis* (Loew, 1873)

국명: 커런트과실파리(신칭)

영명: Currant fruit fly

아과/족: Trypetinae: Adramini

*Trypeta canadensis* Loew 1873: 235. — Canada. HT ♀ MCZ.

*Epochra lunifera* Hering 1940: 5. — USA. Washington: Sumner. HT ♀ BMNH.

**검역해충 등급제안:** 관리해충 - **기존등급:** 관리해충

**등급분류 근거:** 국내에서도 커런트류가 재배되며, 같은 속의 까치밥나무가 자생한다. 따라서 북미에 서식하는 이 해충의 도입 시 정착할 가능성이 있으므로, 관리등급을 유지할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 황갈색이며, 흑색~흑갈색의 센털과 털을 지니고 있다. 센털의 배열 및 모양은 전형적인 과실파리의 특성을 보이거나, 날개의 패턴으로 다른 분류군들과 구분 가능하다.

**성충형질:** 중형의 과실파리로서, 몸체가 전체적으로 황갈색이며 센털과 털은 흑색~흑갈색이다. 머리에는 길고 강한 3쌍의 이마센털과 1쌍의 안와센털이 있으며, 홑눈센털은 매우 짧게 축소되어 있다. 가슴은 전형적인 과실파리의 센털 구성을 가지고 있으며, 작은방패판에는 2쌍의 센털이 있는데, 말단센털은 중간에 서로 가로질러 있다. 날개는 투명하며, 전연문(pterostigma)에서 bcu맥질의 말단부까지 갈색 세로띠가 있으며, R-M맥을 통과하는 넓은 중앙 세로띠가 날개 전단부에서 말단부로 꺾여져 이어지며, M맥을 바로 지나 끝난다. 이 세로띠는 r<sub>4+5</sub>맥질에서 시작하여 RM-Cu맥을 통과하는 세로띠와 날개 후단부에서 합쳐진다. 암컷의 산란통은 매우 길어서 앞쪽 복부와 길이의 3/4정도에 이른다.

**유충형질:** 자료 없음.

**숙주범위:** 커런트류(*Ribes* spp.).

**가해 가능한 국내작물:** 커런트류(*Ribes* spp.).

**분포:** 미국, 캐나다.

**유인제:** 알려지지 않음.

**DNA 바코드:** 2019년 10월 현재 BOLD 데이터베이스에서 8개의 바코드를 찾을 수 있다. 계통분석 시 단일 클러스터를 이루므로, 0.5% 이내의 바코드 거리로 쉽게 구분될 수 있다. 이 종으로 BOLD 데이터베이스에 기록된 "TEPH014-07"은 *Euaresta* sp.의 오염으로 사료된다.





그림 72. 커런트과실파리(*Euphranta canadensis*), 암컷. Photo by H.-Y. Han.

**73. *Plioreocepta poeciloptera* (Schrank, 1776)**

국명: 아스파라거스과실파리(신칭)

영명: Asparagus fly

아과/족: Trypetinae: Zaceratini

*Musca poeciloptera* Schrank 1776: 96. - Austria. Linz. T A Unknown.

*Ortalis fulminans* Meigen 1826: 275. - Germany. Berlin. HT ♀ MNHNP.

**검역해충 등급제안:** 금지해충 제3급 53위 - **기존등급:** 관리해충

**등급분류 근거:** 유럽에서 아스파라거스의 주요 해충이다. 한국에서 아스파라거스 재배가 증가추세이며, 온대지역 분포 해충이므로 금지과실파리로 격상할 필요가 있다.

**진단형질:** 이 종은 전체적으로 흑갈색이 우세하며 머리와 다리 부분은 갈색~황갈색이다. 특이한 날개무늬로서 쉽게 구분 가능하다.

**성충형질:** 중형의 과실파리로서, 전체적으로 흑갈색이 우세하며 머리와 다리 부분은 갈색~황갈색이다. 센털과 털은 흑갈색이다. 더듬이의 끝부분이 뾰족하며, 3쌍의 이마센털, 2쌍의 안와센털을 지닌다. 방패판은 거의 흑갈색이며, 어깨돌기와 작은방패판은 약한 옅은 색이다. 작은방패판은 2쌍의 센털이 있다. 다리는 전체적으로 황갈색~갈색이다. 날개는 그림과 같은 독특한 패턴이 있다. 산란통은 바로 앞 2개의 배마디보다 약간 길다.

**유충형질:** White & Elson-Harris (1992) 190쪽 참조.

**숙주범위:** 아스파라거스.

**가해 가능한 국내작물:** 아스파라거스.

**분포:** 아프리카, 인도, 스리랑카, 네팔, 부탄, 미얀마, 중국 남부, 대만, 홍콩, 태국, 베트남, 캄보디아, 라오스, 하와이, 마리아제도, 타이티.

**유인제:** Methyl eugenol.

**DNA 바코드:** 영국과 스웨덴에서 남쪽으로는 불가리아에 이르는 유럽 중부에 주로 서식하며, 동쪽으로는 중앙아시아까지 분포함.

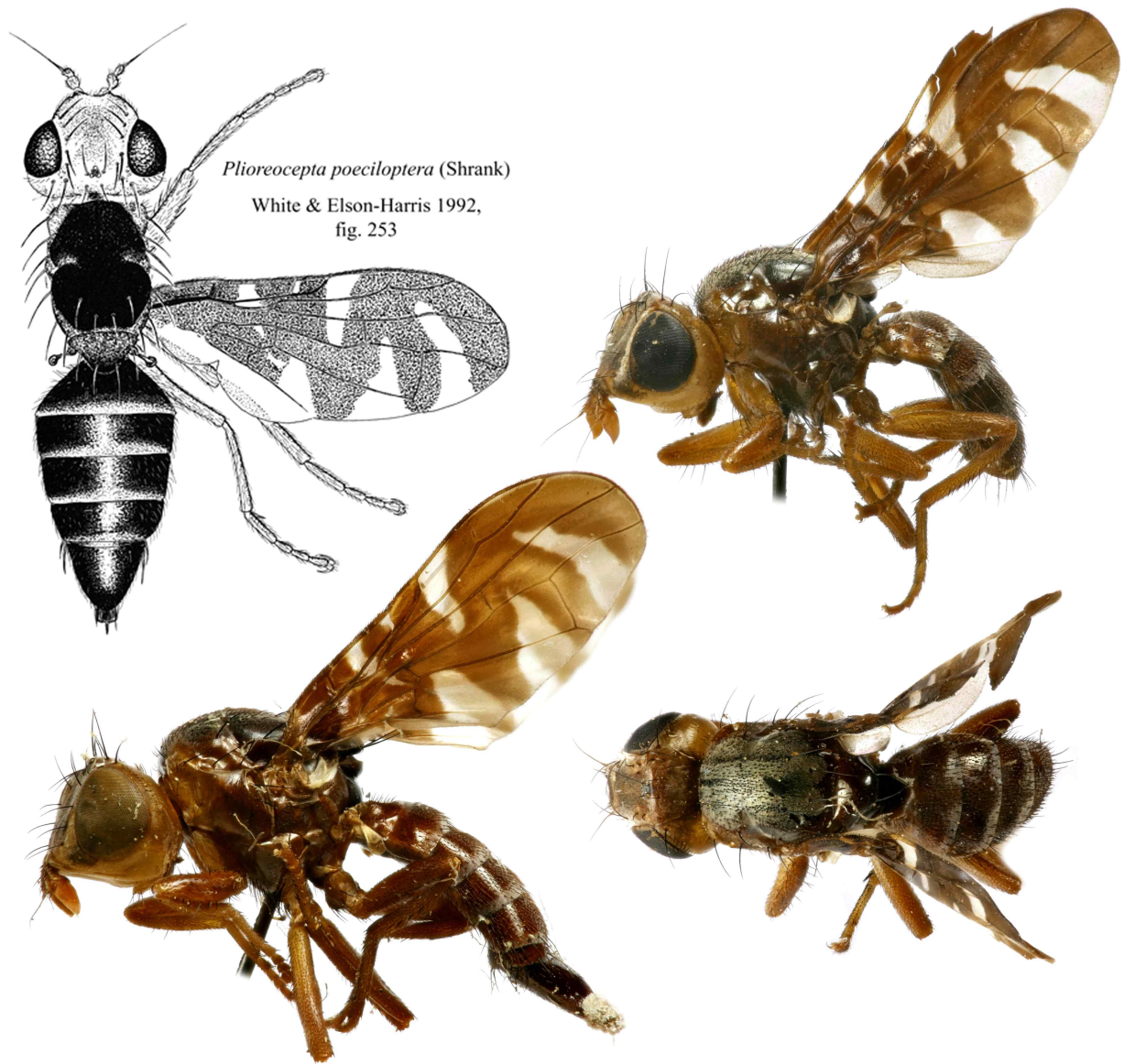


그림 73. 아스파라거스과실파리(*Plioreocepta poeciloptera*) 암컷(왼쪽), 수컷(오른쪽). Drawing from White & Elson-Harris (1992). Photos by H.-Y. Han.

## 제3장 위해성 과실파리 DNA 바코드 진단 프로토콜

### 1. 연구요약

인터넷 상에서 제공되고 있는 DNA 바코드 데이터베이스인 “BOLD Systems”에는 현재 30만 종, 770만 건 이상의 DNA 바코드 염기서열이 수록되어 있으며(www.boldsystems.org, 2019년 11월 현재), 이 중 상당수가 누구나 접근 가능하도록 열려있다. 특히 과실파리과의 경우 이미 1,500종 18,000개체 이상의 바코드가 수록되어 있다. 검역본부에서 규정한 43종의 금지해충 중에서도 이미 36종의 바코드가 수록되어있으며, *Ceratitis capitata*의 경우 208개체, *Bactrocera dorsalis*는 979개체의 바코드가 등록되어 있다. 따라서 이번 과제의 진단 프로토콜에는 BOLD Systems를 적절히 이용할 수 있는 접근을 시도하고 있다.

BOLD Systems는 검역 과정에서 발견된 해충들의 동정을 위해 매우 유용한 자료로 활용될 수 있으나, 다수의 검증되지 않은 염기서열들까지 포함되어 있다는데 심각한 문제가 있다. 따라서 최소한 금지 및 관리급 과실파리에 대한 진단 프로토콜을 제시하여 바코드 활용상의 문제를 최소화할 필요가 있다. 1~4차 년도에 걸쳐 BOLD Systems에 현재 입력되어 있는 다운로드 가능한 모든 과실파리 염기서열을 분석하였으며, 가능한 한 이미 보유하고 있는 확실히 동정된 표본에서 획득된 염기서열과의 비교를 통하여 도해집에 수록한 종들의 바코드 데이터를 확인하였다. 결과적으로 도해집에 수록한 총 73종에서 바코드 정보가 없는 9종을 제외한 64종의 바코드 프로토콜을 작성하였다 (앞부분의 위해성 과실파리 도해집 참고).

### 2. 재료 및 방법

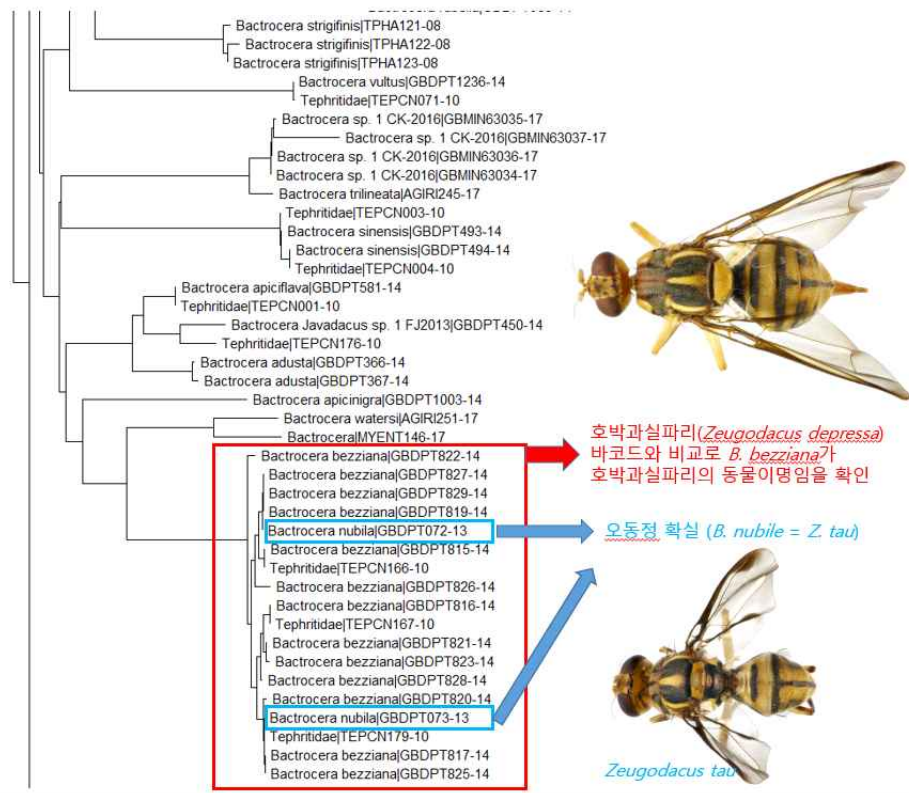
BOLD에서 다운로드하거나 직접 분석한 염기서열이 확인되면 이들을 BioEdit 소프트웨어(ver. 7.0.5.3, 2005; Hall, 1999)로 정리하였으며, CLUSTAL X 소프트웨어(version 1.83, 2007; Thompson et al., 1997)를 사용하여 정렬(aligning)한다. 정렬이 불가능하거나 확실치 않은 부분은 GBLOCK 0.91b 소프트웨어로 자료행렬에서 제거할 수 있으며, 바코드 염기서열의 경우는 염기의 결손과 추가가 거의 없으므로 정렬에는 문제가 없다. 계통적인 분석을 위해서는 PAUP\* (ver. 4.0b) 또는 MEGA (ver. 6.0) 등의 소프트웨어를 사용하였다.

핵산추출방법은 핵산추출 키트(Quiagen DNeasy Tissue Kit)를 사용하였으며, 제품에 포함된 실험법을 약간 변형시킨 non-destructive extraction method를 사용하였다. 이 방법에서는 실험의 1단계에서 버퍼 및 proteinase-K 용액에 곤충의 전체 또는 배 부분을 넣어 섭씨 55도에서 최소 12시간 동안 약간씩 흔들면서 보관함으로써 표본의 큐티클층을 파괴하지 않고도 DNA를 추출할 수 있다. 이 방법으로도 충분한 양의 핵산을 추출할 수 있으며 시료는 항상 증빙표본(voucher specimen)으

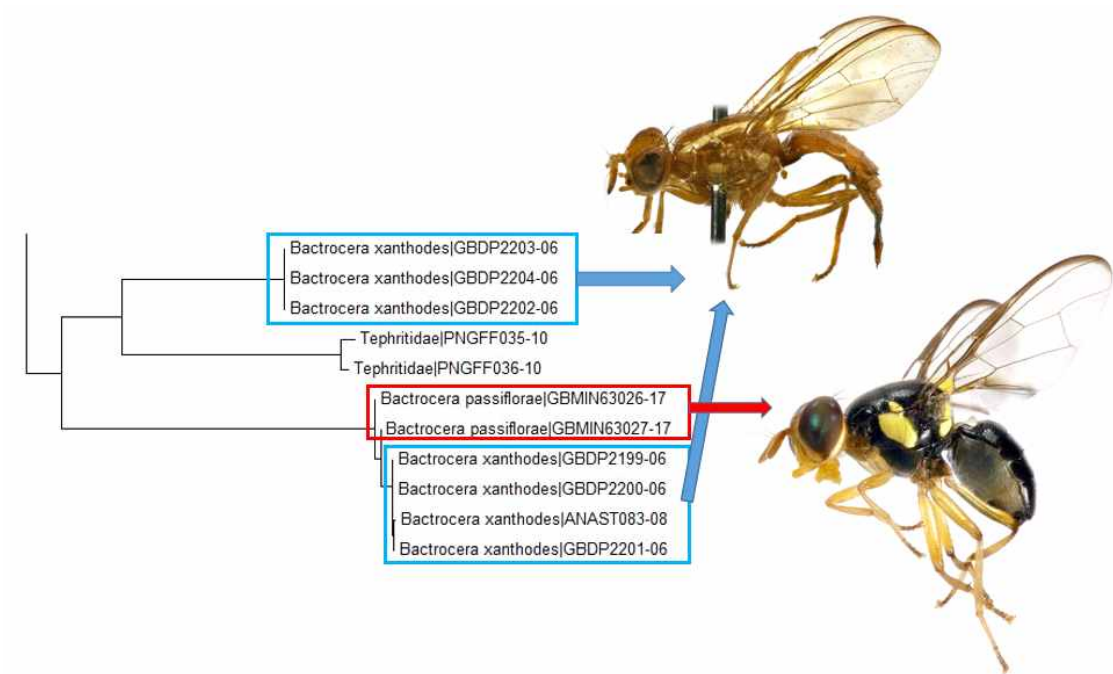
로 보관하여 추후 형태적인 연구에 쓸 수 있게 한다. 전개체를 핵산추출에 사용하는 건조 또는 알코올표본의 경우에도 날개를 절단하여 증빙표본으로 보관한다. 이미 추출된 핵산으로부터 바코드 부분을 PCR 방식으로 증폭한 뒤 다시 아가젤 전기영동 (agarose gel electrophoresis)으로 분리시킨다. 이렇게 분리된 DNA는 정제한 후 직접 염기서열을 분석의 주형으로 사용하였다.

### 3. 결과

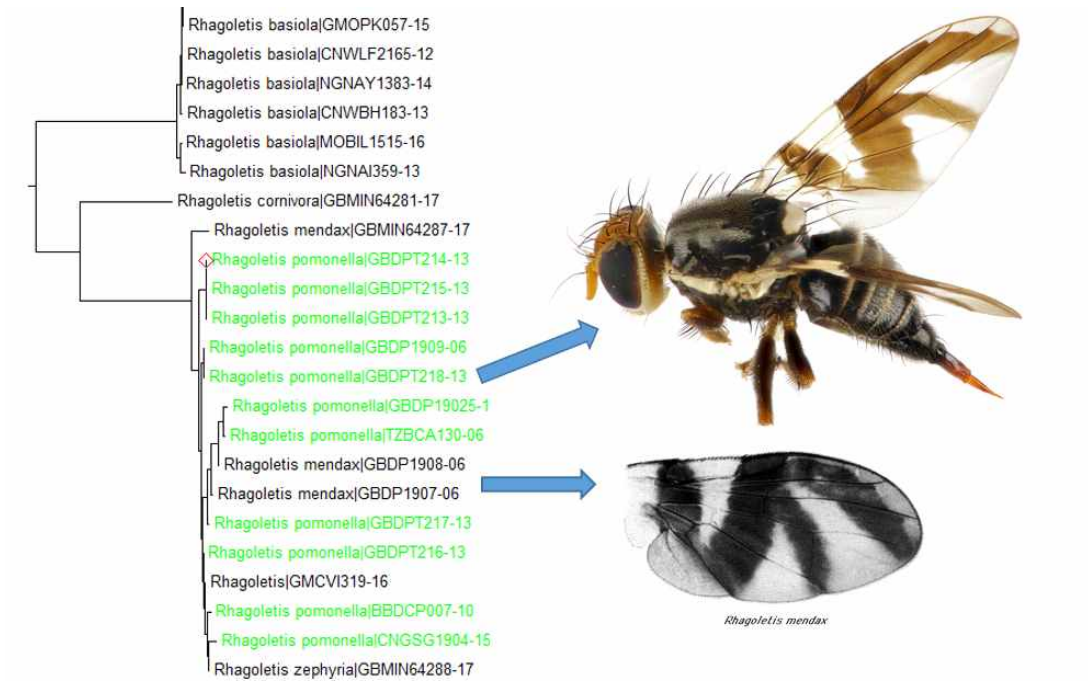
BOLD Systems에서는 총 9,000개 이상의 과실파리 바코드 염기서열을 다운로드하여 분석하였다. 이들 중 바코드부분이 아닌 것들이나, 서열이 매우 짧은 것들을 제외한 약 7,000개 이상의 바코드를 분석하였다. 전체적인 분석의 결과, 몇 가지 흥미로운 사실들을 확인할 수 있었다. 예를 들면, 한국의 해충분류군인 호박과실파리 (*Zeugodacus depressus*)의 경우(예1), 거의 확실한 동물이명 및 오동정의 사례를 확인할 수 있었다. 아래 그림에서 볼 수 있듯이, *Zeugodacus bezzianus* (*B. bezziana*로 기록)는 한국의 호박과실파리 바코드와 동일하며, 형태적인 비교를 통하여 동물이명(synonym)임을 확인하였다. 두 번째 예는 형태적으로 확연히 다른 두 종인 *B. xanthodes*와 *B. passiflorae*가 가까운 유연관계를 갖는 확인한 경우이다. 여기서 재미있게도 *B. xanthodes*의 4개 염기서열은 거의 *B. passiflorae*와 같다는 것을 알 수 있으며, 이는 유전적으로 가까운 제3의 종의 존재를 시사해주는 경우일 수도 있고, 종간의 잡종화를 통하여 미토콘드리아가 도입되었을 가능성도 있는 매우 흥미로운 상황이다. 세 번째 예는 사과과실파리(*Rhagoletis pomonella*)의 경우 근연종인 *R. mendex* 및 *R. zephyria*와 구분이 되지 않는 경우이다. 앞서 제시한 도해집에서는 도해집에 포함된 73종 중 DNA 바코드가 확인된 64종의 DNA바코드 프로토콜을 이와 비슷한 고찰과 함께 포함시켰다.



(바코드 분석 예1) DNA 바코드 분석으로 오동정 의심사례를 찾아낸 경우. 한국종의 정확한 동정과 바코드 적용을 통해 붉은색 사각형 안의 분기군이 호박과실파리(*Zeugodacus depressus*)임이 확인되었으며, *B. bezziana*는 호박과실파리의 동물이명이며, *B. nubila*로 기록된 것은 *Zeugodacus tau*의 오동정임이 확인됨



(바코드 분석 예2) DNA 바코드 분석을 통하여 형태적으로 확연히 다른 두 종의 유연관계를 확인하였으며, *B. xanthodes*와 형태적으로 유사하나 *B. passiflorae*에 유전적으로 가까운 제3의 종의 존재를 시사해주는 경우. 또는 이 두 종간의 잡종화를 통하여 미토콘드리아가 도입되었을 가능성도 있음.



(바코드 분석 예3) DNA 바코드 분석시 3개의 자매종(*R. pomonella*, *R. mendax*, *R. zephyria*)가 구분 불가능한 경우.



## 제4장 위해성 과실파리 분류학적 기반연구

### 1. 연구요약

과실파리과 해충의 분류 및 생태, 또는 해충학적 측면의 연구가 범세계적으로 활발하게 진행되고 있으며, 과실파리과의 분류체계, 종의 범위, 해충성들에 대한 해석이 역동적으로 변화하고 있는 상황이다. 따라서 검역상 발생할 수 있는 종 문제에 신속·정확하게 대처하는 동시에 원활히 국제적인 협력을 구하기 위해서는 국내에서도 과실파리 해충분류군에 대한 높은 수준의 분류학적 연구기반의 확립이 필요하다. 분류학적 연구는 종수준의 접근과 상위분류군 수준의 접근을 동시에 실시하고 있다.

첫째, 종 수준 분류학적 연구는 본격적인 과실파리의 조사와 생체획득이 원활하게 국내 과실파리를 위주로 실시하되, 필요시 타 지역의 시료들은 국제협력을 통한 표본교환으로 획득하고 있다. 연구 내용으로서는 과실파리과 곤충 관련 신종 및 미기록종의 확인, 종의 범위 설정, 과거의 오류수정 등이 포함될 것이며, 이를 통해서 과실파리 해충분류군의 종문제를 심도 있게 이해하는데 큰 도움이 될 것이다.

둘째, 상위분류군 수준의 분자계통학적 연구, 즉 검역해충들이 집중되어 있는 Dacinae 아과의 기원과 상위분류체계의 개선에 공헌할 수 있는 연구를 실시할 것이다. 이런 종류의 연구는 특히 국제적으로 많은 주목을 받을 수 있으며, 이를 통하여 해충분류군에 대한 전반적인 이해도를 향상시키는 동시에 한국 과실파리 연구진의 위상을 높여 국제협력을 이끄는 데도 큰 도움이 될 수 있을 것이다. 이 연구는 단기간의 가시적인 결과보다는 장기기적인 연구의 기반을 확립시키는 방향으로 추진하고 있다.

### 2. 재료 및 방법

첫 번째, 종 수준 연구는 과실파리 해충의 신종, 미기록종 확인, 분류학적 재검토 등의 전형적인 알파 분류학적인 연구이다. 이와 동시에 도해집에 포함될 종들에 대한 모식 및 증빙표본 확인 및 촬영도 진행하였다. 종 수준 단계의 연구는 주로 표본획득, 검경, DNA 바코드 확인 및 분석을 포함하여 진행하였다. 표본획득은 직접적인 채집 및 해외 방문연구를 통하여 실시하였다. 채집지는 국내와 베트남(현지 전문가 활용), 베트남, 피지, 하와이 등지였으며, 방문한 해외 표본 소장지는 다음과 같다.

(1) 2016년 10월 29일 ~ 11월 10일: School of Earth, Environmental & Biological Sciences, Queensland University of Technology, GPO Box 2434, Brisbane, QLD 4001, Australia

(2) 2017년 4월 9일 ~ 4월 18일: Royal Museum for Central Africa, Leuvensesteenweg 13, B-3080 Tervuren, Belgium.

(3) 2018년 7월 2일 ~ 7월 14일: Bernice Pauahi Bishop Museum, 1525 Bernice Street, Honolulu, Hawaii 96817, USA.

### 호주 출장 사진



QUT 전경



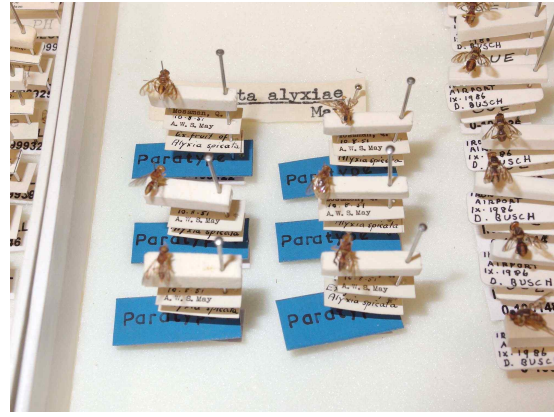
표본사진 1



표본사진 - *Bactrocera jarvisi* 생체 촬영분



표본사진 2



표본사진 3

## 벨기에 출장 사진



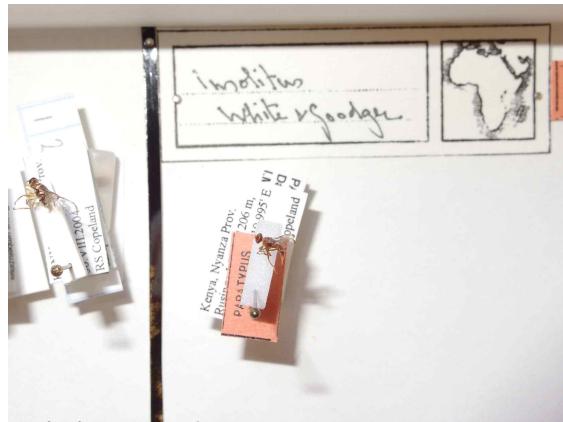
왕립중앙아프리카 박물관 전경



곤충표본실 - 과실파리 표본



과실파리 표본 예



과실파리 표본 예



Dr. DeMeyer와 함께



Dr. Massimiliano와 함께

## 하와이 출장 사진

비숍 박물관 곤충연구관 전경



곤충표본실 - 과실파리 표본



과실파리 모식표본 예

*Ortaloptera callistomyia* 정밀사진

Dr. Evenhuis와 함께

Dr. Boone와 함께

두 번째 상위분류군 수준의 연구는 과거에 과실파리 상위분류체계 연구에 유용한 것으로 확인된 미토콘드리아의 몇몇 유전자 마커들을 수합하여 사용할 것이다. 구체적으로는 DNA 바코드 부분인 COI 유전자에 추가하여, 12S rRNA, 16S rRNA, COII 등의 유전자를 포함하는 최소 4,000 bp 이상의 염기서열을 사용할 것이다. 대상 분류군으로서 군외군 및 Dacinae 아과의 다양한 상위분류군들을 골고루 획득하여 약 50-100 분류군의 자료행렬을 분석하기 위해 실험을 실시하고 있다.

### 3. 결과

분류기반연구의 결과 다음과 같은 3편의 논문들을 출판할 수 있었으며, 모두 SCI급에 속하는 학술지에 게재되었다.

Han, H. Y., Choi, D. S., Ro, K. E., 2017. Taxonomy of Korean *Bactrocera* (Diptera: Tephritidae: Dacinae) with review of their biology. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 20: 1321-1332.

Han, H. Y., Ro, K. E., 2018. Discovery of a naturally occurring individual of *Acanthiophilus helianthi* (Rossi) (Diptera: Tephritidae) in Korea, a managed quarantine pest by the Korean Animal and Plant Quarantine Agency. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 21: 1262-1267.

Han H.Y., Ro K.E. 2019. DNA barcoding reveals a species group of the genus *Campiglossa* (Diptera, Tephritidae, Tephritinae) with recognition of a new species from East Asia and previously unknown females of *Campiglossa coei* (Hardy). *ZooKeys* 899: 1-36.

#### 2017년 논문 결과 요약

다음과 같은 한국산 종들을 포함하는 논문을 완성하였으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 호박과실파리(*Zeugodacus depressa* - 아래의 도판 참조): 본 종은 남한 전역에 분포하며, 박류를 가해하는 심각한 해충이다. 본 연구의 결과 이 종은 중국에서 기록된 *Z. bezziana*와 같은 종으로서, 선취권에 따라서, *Z. bezziana*를 호박과실파리의 동물이명 처리하였다.

(2) 호박꽃과실파리(*Z. scutellata* - 아래의 도판 참조): 본 종은 남한 전역에 분포하며, 박류의 꽃을 가해하는 해충이다. 주로 남부지방에 많은 개체군들이 분포하나, 북쪽으로는 강원도 원주에서도 간혹 채집이 된다.

(3) 녹나무과실파리, 신칭(*Bactrocera hyalina*): 이 종은 본 연구에서 한국 미기록

종으로 확인된 분류군으로서, 제주도에서 예찰용 끈끈이 트랩에 종종 채집이 되는 종이다. 주로 녹나무류의 열매를 가해하므로 경제적으로 중요한 해충이라고 할 수 없다. 녹나무과실파리와 숙주식물의 분포로 볼 때, 이 종은 새롭게 발견된 한국자생종으로 판단되었다.

### Taxonomy of Korean *Bactrocera* (Diptera: Tephritidae: Dacinae) with review of their biology



#### 2018년 논문 결과 요약

이 논문에서는, 한국 미기록종인 홍화꽃과실파리(*Acanthiophilus helianthi*)를 한국자생종으로 확인하여 기록하였다. 이는 2018년 9월 SCI 학술지인 Journal of Asia-Pacific Entomology에 온라인 출판이 된 바 있다(첨부한 논문 graphical abstract 참조). 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 홍화꽃과실파리(*Acanthiophilus helianthi*)는 한국자생종이다.
- (2) 홍화꽃과실파리는 유라시아의 온대 건조지역에서 특히 중요한 농업 및 검역해충이다.
- (3) 홍화꽃과실파리는 비교적 습윤한 한국 또는 영국 등지에서는 상대적으로 희귀한 종이며, 해충성을 획득하지 않은 것으로 사료된다.
- (4) 현재 홍화꽃과실파리는 검역본부 관리해충 목록에 포함되어 있으나, 한국 분포가 확인되었으므로 관리해충 목록에서 제외하는 것이 합당하다.

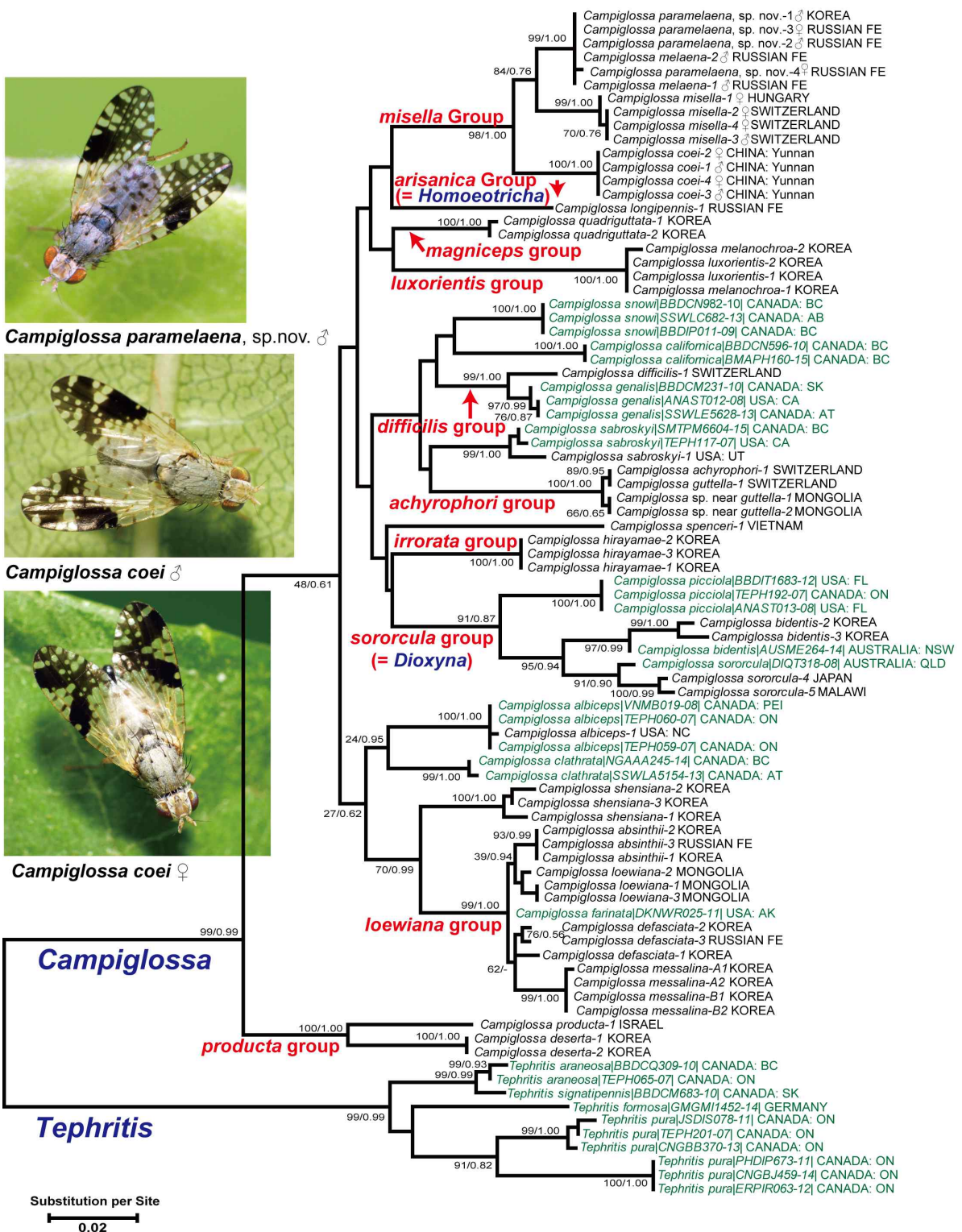
Discovery of a naturally occurring individual of *Acanthiophilus helianthi* (Rossi) (Diptera: Tephritidae) in Korea,  
a managed quarantine pest by the Korean Animal and Plant Quarantine Agency



#### 2019년 논문 결과 요약

이 논문에서는, 한국산 신종인 *Campiglossa paramelaena*를 확인하여 기재하였다. 또한 DNA 바코드 분석을 통하여 속내의 다양한 종군들을 확인할 수 있었으며, 이 한국산 신종이 *Campiglossa misella* 그룹에 속하는 것을 확인하였다. 또한 과거 *Homeotricha*와 *Dioxyna*속으로 알려진 분류군을 *Campiglossa*속에 편입시킬 수도 있었다. 이 결과들은 SCI 학술지인 ZooKeys에 게재되었다. 중요 결과는 다음 쪽의 그림에서 잘 요약되어 있다.





그림설명: MEGA X analysis produced a maximum-likelihood (ML) phylogram of the 76 selected *Campiglossa* (ingroup) and ten *Tephritis* (outgroup) DNA barcode sequences using the general time reversible model. The first number on each branch is the bootstrap support from ML analysis (pb); the second number represents posterior probability (pp) from Bayesian inference (BI). Samples in green letters were extracted from BOLD systems (www.boldsystems.org).

두 번째, 상위분류군 수준 연구는, 종 수준 연구에 비해 장기적인 차원의 접근이 필요하다. 따라서 본 연구는 과실파리 연구의 기반을 마련하는 데 의미가 있다. 따라서 이 연구를 위하여 1~4차 년도에 수행한 내용을 다음과 같이 정리한다.

우선 제목은 “Origin of the subfamily Dacinae and diversification of major phyletic groups within”으로 정하였으며 이를 번역하면 “과실파리 아과의 기원과 주요 계통에 관한 연구”가 된다. 이는 전술한 대로 상당히 장기간이 필요한 포괄적인 연구이나, 이미 연세대학교에서는 상당한 연구가 진행된 관계로 최소 기본적인 자료행렬이 완성 단계에 있다.

이 연구의 실험분류군으로서는 금지과실파리 중 가장 많은 종을 포함하고 있는 *Bactrocera* 속과, 악명 높은 지중해과실파리가 속하는 *Ceratitis* 속 등이 소속된 해충분류군인 Dacinae 아과를 선정하였다. 분석을 위해서는 1,000종이 넘는 방대한 소속분류군 중에서 50-100종만을 선별하고 있으며, 이미 절반 이상의 종들은 오랜 채집 및 표본교환을 통하여 확보한 바 있다.

이 연구는 범세계적인 분류군의 수집이 필요한 연구이므로, 국제적인 협력이 필수적이다. 따라서 1차 년도에는 호주의 브리즈번에 있는 Queensland University of Technology의 Mark Schutze 박사를 방문하여 필요한 시료를 기증받는 동시에 공동연구를 논의한 바 있다. 2차 년도에는 벨기에의 Royal Museum of Central Africa의 Mark DeMeyer 박사를 방문하였으며, 상당수의 시료를 확보하여 실험중이다. 3차 년도에는 과실파리연구의 아버지라고 불리는 고 Elmo Hardy 박사님의 표본들이 소장되어 있는 하와이의 Bishop Museum을 방문하여 다양한 상위분류군들의 증빙표본을 확인한 바 있다. 이는 현재 확보한 시료들의 정확한 동정을 위하여 필수적인 작업이다. 이 분들 외에도 우크라이나의 Valery Korneyev 박사, 미국 국립자연사박물관의 Allen Norrbom 박사와의 긴밀한 협조관계가 이루어지고 있다.

전술한 국제교류와 방문연구는 상위분류군 수준의 분류기반 연구뿐만 아니라, 본 검역해충 과제의 주된 목표중의 하나인, 검역해충 도해집 집필용 표본 동정 및 촬영에 필수적인 활동이다.

## 제5장 오리엔탈과실파리 생태분석 및 개체군 정착능력 평가

### 1. 오리엔탈과실파리의 온도발육 모형 매개변수 추정

#### 서론

기후를 포함한 다양한 환경 요인 아래서의 해충의 계절적 발생과 변동을 예측하기 위하여 개체군 모형이 이용되어 왔다 (Shaffer and Gold, 1985; Kim and Lee, 2010). 오리엔탈과실파리의 개체군 모형이 갖춰지면 국내에서 이들 개체군 정착을 평가하는 효과적인 수단이 될 것이며 관리 전략을 수립하는 데에도 유용할 것이다. 개체군 모형을 구성하는 데에는 발육율 모형과 발육기간 분포모형으로 이루어진 단계전이 모듈과, 온도 의존적 총산란수, 연령 특이적 생존율 및 산란율 모형으로 구성되는 산란 모듈 등 기본적으로 온도에 대한 모형이 필요하다 (Kim and Lee, 2010). 그러나 오리엔탈과실파리 개체군 모형을 구성하기 위한 온도 모형은 아직 개발되어 있지 않다. 따라서 이번 연구의 목적은 기존에 발표된 생물학적 데이터들을 이용하여 오리엔탈과실파리에 관하여 온도와 발육 또는 산란간의 관계를 설명하는 기초적인 모형들을 개발하는 것이다. 또한 우리는 오리엔탈과실파리의 발육영점과 유효적산온도를 제시하였다.

#### 재료 및 방법

##### 모형 개발을 위한 데이터 출처

SD 표2와 같이 전 세계의 기존 발행 문헌으로부터 오리엔탈과실파리 복합종에 대한 온도 의존적 발육, 수명, 산란 데이터셋을 얻었다. 이들의 온도 의존적 발육 및 산란 모형을 추정하기 위하여 모든 데이터들을 종합하였다. 우리는 모형 매개변수 추정에 상용 프로그램인 TableCurve 2D (Jandel Scientific, 2002) 를 이용하였다.

##### *미성숙 단계일 때의 온도 의존적 발육 모형*

알, 유충, 용의 각 발육기간의 역수 (1/일 단위로 된 평균발육기간) 를 발육율로 이용하였다. 그리고나서 온도에 대한 선형 및 비선형 방정식의 각 매개변수를 구하기 위해 회귀분석을 실시하였다.

##### *선형 발육모형*

발육율( $y$ )과 온도( $x$ ) 간의 관계를 적합하기 위하여 선형모형 ( $y = ax + b$ ,  $a =$  기울기,  $b = y$ 절편) 을 적용하였다. 추정된 선형모형은 오리엔탈과실파리의 알, 유충, 용, 알 ~ 알 기간별 발육영점 ( $-b/a$ ) 과 유효적산온도 ( $1/a$ ) 를 구하는 데에 쓰였다 (Campbell et al., 1974). 선형 영역에 속하는 발육 데이터들만을 포함시켜 모형을 구하였다.

### 비선형 발육모형

오리엔탈과실파리의 알, 유충, 용의 각 발육율과 온도 간의 관계를 설명하기 위하여 Logan (Logan et al., 1976) 방정식에서 조정된 Lactin et al. (1995) 의 방정식을 선택하였다. 이 간단한 방정식은 3개의 매개변수를 지니고 있으며 통계적인 견고성 (robustness) 측면에서 다양한 데이터셋에서 좋은 적합성능을 보여주는 것으로 알려져 있다 (Kim et al., 2017; Hyun et al., 2017). 따라서 이 모형은 오리엔탈과실파리 발육 데이터를 신속하게 매개변수화하는 데에 유용하다.

$$r(T) = \exp(\rho T) - \exp\left(\rho T_{\max} - \frac{T_{\max} - T}{\Delta T}\right) \quad \text{식 1}$$

$r(T)$ 는 기온  $T(^{\circ}\text{C})$  일 때의 평균 발육율이며,  $T_{\max}$ 는 상한온도,  $\Delta T$ 는 “열 분해 (thermal breakdown)” 에 의한 영향이 크게 나타나는 온도 범위이며,  $\rho$ 는 효소에 의해 일어나는 주요 생화학적 반응들에 대한 복합적인 값이다 (Logan et al., 1976; Damos and Savopoulou-Soultani, 2008).

### 발육기간 분포 모형

곤충 집단(cohort) 내에서 발육단계를 완료하는 비율은 각 개체마다 다르다. 이러한 변동은, 집단 내에서 일정 누적 발육율일 때의 발육완료 개체의 비율을 결정하는 발육기간 분포 모형과 같이 통계적으로 모형화될 수 있다 (Wagner et al., 1984). 기본적으로 곤충의 각 발육단계별로 표준화된 정규분포를 얻기 위해서는 빈도를 일정 단위 (1) 로 조정한, 그리고 발육기간을 평균 또는 중간값으로 나누어 표준화시켜 구한 발육기간의 누적 빈도분포가 필요하다 (Wagner et al., 1984).

그러나 오리엔탈과실파리의 생물학적 분포 모형을 추정하는 데에 필요한 데이터셋이 없었으므로 우리는 오리엔탈과실파리 발육기간의 빈도분포가 정규분포를 나타낼 것으로 가정하여 모형 매개변수를 추정하였다. 누적정규분포 식에서 평균의 위치는, 누적빈도 0.5, 2.5, 16.87, 25.0, 50.0, 75.0, 83.13, 97.5, 99.5%에 해당하는 각 표준편차 값 즉  $-2.576, -1.960, -1.0, -0.675, 0.0, 0.675, 1.0, 1.960, 2.576$  과 함께 표시된다 (표준단위인  $z_i$  에서,  $i = 1$  일 때  $-2.576 \sim i = 9$  일 때  $2.576$ ) (Sokal and Rohlf, 1981). 각 누적빈도에서 오리엔탈과실파리의 표준화된 연령 (생리적연령,  $px_i$ ) 은, 위의 표준단위 정리에 따라 각각의 발육단계별 평균 ( $\bar{X}$ ) 과 표준편차 ( $s$ ) 를 이용하여 구하였다.

$$px_i = \frac{\bar{X} + z_i s}{\bar{X}} \quad \text{(가) 식}$$

2

각기 다른 온도조건의 평균발육기간으로부터 구한 생리적 연령에 따른 모든 누적빈도를 동일 발육단계 별로 합쳐 매개변수가 2개인 Weibull 함수를 추정하였다.

### 암컷 성충의 산란모형 구성요소들

온도 의존적 총산란수, 연령 특이적 산란율, 연령 특이적 생존율과 같은 3가지 온도 의존적 보조 모형들이 곤충 종의 산란 모형을 구성하기 위하여 조합된다 (Curry and Feldman, 1987). Kim and Lee (2003) 의 설명에 따라 오리엔탈과실파리의 산란모형을 구성하였다.

### 암컷 성충 노화율 모형

모의에 필요한 성충 노화율 모형, 즉 수명완료 모형을 구하기 위하여 (Kim and Lee, 2015; Choi and Kim, 2016) 암컷 성충의 평균 수명을 역수로 변환하였다. 우리는 곤충 수명의 변화를 잘 표현하고 있는, Curry and Feldman (1987) 에 의해 조정된 Eyring 방정식 (Eyring, 1935) 을 이용하였다. 성충의 수명은 온도 증가와 함께 감소하여 특정 치명적인 온도에서 죽게 된다 (Kang et al., 2015; Choi and Kim, 2016).

$$r(T) = \phi T \exp(-\delta/T) \quad \text{식 3}$$

$r(T)$ 는 온도  $T(^{\circ}\text{C})$  일때의 노화율이며  $\delta$ 는 매개변수이다. 추정된 노화율 모형은 오리엔탈과실파리 암컷 성충의 생리적 연령을 계산하는 데에 이용하였다. 성충이 우화한 이후부터  $n$ 일째까지의 생리적연령 ( $px$ ) 은 다음과 같은 수식으로 정의되었다 (Curry and Feldman, 1987).

$$px = \int_0^n r(T_i) \approx \sum_{i=1}^n r(T_i) \quad \text{식 4}$$

$r(T_i)$ 는 성충이 우화하고나서  $i$ 일째의 온도가  $T(^{\circ}\text{C})$  일때의 노화율이다.

### 온도 의존적 총산란수 모형

이 구성요소는 일정 온도범위 내에서의 오리엔탈과실파리의 총산란수의 변화를 설명한다 (Curry and Feldman, 1987). 온도와 총산란수 간의 관계는 Kim and Lee (2003)

가 제안한대로 극한값 함수 (Jandel Scientific, 2002) 에 의해 적합되었다.

$$f(T) = \omega \exp \left[ 1 + \frac{\epsilon - T}{\kappa} - \exp \left( \frac{\epsilon - T}{\kappa} \right) \right] \quad \text{식 5}$$

$f(T)$ 는 온도  $T^{\circ}\text{C}$  일때 성충이 자기 수명 동안에 생성하는 알의 총 개수이며,  $\omega$ 는 최대 산란량,  $\epsilon$ 는 최대 산란이 일어나는 온도,  $\kappa$ 는 적합 상수이다 (Kim and Lee, 2003).

#### 연령 특이적 누적 산란율 모형

연령 특이적 산란율이란 총 산란기간 동안의 산란수에 대하여 주어진 연령 기간 동안에 산란된 알 개수의 비율이다 (Curry and Feldman, 1987). 매개변수가 3개인 Weibull 함수가 이 보조모형을 추정하는 데에 사용되었다.

$$p(px) = 1 - \exp[-((px - \gamma)/\eta)^{\beta}] \quad \text{식 6}$$

$p(px)$  는 성충 연령이  $px$  에 이를 때까지 산란된 알의 누적 비율이고  $\gamma, \eta, \beta$ 는 적합 상수이다. 산란된 알의 일별 빈도는 연령 특이적 누적 산란율 곡선을 추정하는 데에 요구된다. 사용할 수 있는 데이터셋이 없었기 때문에 우리는 다음과 같은 가정을 통해 누적산란곡선을 추정하였다. 산란전기간 완료시점, 첫 산란으로부터 수명이 25% 진전되었을 때, 그리고 평균수명에 이르렀을 때 각각의 누적산란율은 0, 70, 100%가 된다. 이러한 가정은 오리엔탈과실파리 복합종 (*B. invadens*) 의 산란곡선에 대한 유일한 자료인 Ekési et al. (2006) 의 그래프에서 첫 산란 시작 이후 총 수명의 25%정도 연령일 때 산란이 70% 완료되었던 것을 기반으로 하고 있다. Vargas et al. (2000) 의 산란전기간 및 성충 수명을 이용하여 각 온도별 누적산란곡선을 구하고 매개변수 계산을 위하여 통합하였다. 24, 29.5 도에서 얻어진 0% 데이터값과 같은 이상값은 분석에서 제외하였다. 일수로 된 수명은 식4를 통해 생리적연령으로 변환하였다.

#### 연령 특이적 생존율 모형

연령 특이적 생존율은 초기 성충수에 대한, 특정 연령에서의 생존 성충율을 뜻한다 (Curry and Feldman, 1987). 식4에서 계산된 오리엔탈과실파리 성충 생리적 연령에 대한 연령 특이적 생존율을 설명하기 위하여 시그모이드 함수를 적합하였다.

$$s(px) = \frac{1}{1 + \exp[(\alpha - px)/\lambda]} \quad \text{(나) 식 7}$$

$s(px)$ 는 생존 암컷 성충들의 생리적연령이  $px$  일 때의 생존율이며,  $a$ 는 생리적연령이 50%일 때의 생존율,  $\lambda$ 는 적합 상수이다 (Kim and Lee, 2003).

연령 특이적 생존율 모형의 독립 변수들은 발육기간 분포 모형을 계산할 때와 같은

방식을 적용하여 얻었다. 수명완료는 즉 죽음에의 전이로써 누적 전이율은 사망률 곡선이 되며 그 역은 생존율 곡선이다. Vargas et al. (2000) 에서 얻은 수명과 표준편차를 오리엔탈과실파리의 연령특이적 생존율 곡선을 추정하는 데에 이용하였다.

## 결과

### 온도 의존적 발육 모형

#### 선형 발육모형

알, 유충, 용, 알 ~ 알기간에서의 온도와 발육을 간의 관계에서 추정된 회귀선은 표 1에 나타난 바와 같이 통계적으로 유의하였다 (알:  $F = 111.9138$ ;  $df = 1, 26$ ;  $P < 0.0001$ , 유충:  $F = 69.8526$ ;  $df = 1, 26$ ;  $P < 0.0001$ , 용:  $F = 69.2743$ ;  $df = 1, 23$ ;  $P < 0.0001$ , 알 ~ 알:  $F = 35.6748$ ;  $df = 1, 6$ ;  $P < 0.0001$ ). 선형회귀모형을 이용하여 구한 각 발육단계의 발육영점은 알에서 9.6 °C ( $R^2 = 0.81$ ), 유충에서 7.1 °C ( $R^2 = 0.73$ ), 용에서 8.6 °C 였다 ( $R^2 = 0.75$ ) (표 1). 각 발육기간의 유효적산온도는 알 25.4, 유충 163.9, 용 178.7 degree-days (DD) 였다. 또한 알 ~ 알 기간 (알 + 유충 + 용 + 산란전기간) 의 발육영점과 유효적산온도는 각각 9.5°C, 716.7DD 였다. 선형 회귀 모형의 매개변수들은 표 1에 종합하였다.

표 1. 오리엔탈과실파리 알, 유충, 용의 발육영점 (°C) 과 유효적산온도

발육단계	회귀분석			발육영점 (°C)	유효적산온도(D D)
	방정식 <sup>1</sup>	df	R <sup>2</sup>		
알	$y = 0.03943x - 0.37733$	27	0.81	9.6	25.4
유충	$y = 0.00610x - 0.04339$	27	0.73	7.1	163.9
용	$y = 0.00560x - 0.04816$	24	0.75	8.6	178.7
알 ~ 알 <sup>2</sup>	$y = 0.00140x - 0.01332$	6	0.86	9.5	716.7

<sup>1</sup>  $y = ax + b$  로써, y는 발육을 (1/발육기간(일)), b 는 y절편, a 는 기울기이며, x 는 온도(°C) 이다., 알:  $F=111.9138$ ;  $df = 1,26$ ;  $P < 0.0001$ , 유충:  $F = 69.8526$ ;  $df = 1,26$ ;  $P < 0.0001$ , 용:  $F = 69.2743$ ;  $df = 1, 23$ ;  $P < 0.0001$ .

<sup>2</sup> 알 ~ 알 기간이란 알, 유충, 용, 산란전기간을 합친 총 기간이다 (Vargas et al., 2000).

#### 비선형 발육모형

알, 유충, 용, 알 ~ 알기간에서의 온도와 발육을 간의 관계에서 추정된 비선형적 관계

는 Lactin et al. (1995) 의 방정식에 의해 잘 적합되었다. 각 발육 단계별 회귀모형은 통계적으로 유의하였다 (알:  $F = 59.1432$ ;  $df = 2, 25$ ;  $P < 0.0001$ , 유충:  $F = 31.1697$ ;  $df = 2, 25$ ;  $P < 0.0001$ , 용:  $F = 32.1469$ ;  $df = 2, 25$ ;  $P < 0.0001$ ). 추정된 곡선은 온도 증가와 함께 서서히 증가하여 최적온도에서 최대 발육율이 되며 이후 고온 영역에서 감소하여 곤충의 전형적인 온도 의존적 곡선을 나타내었다 (그림 1). 추정된 매개변수 값들은 표 2에 나타내었다. 알, 유충, 용에서 추정된 고온 상한 (매개변수  $T_m$ ) 은 각각 39.9, 43.6, 34.9°C였다.

표 2. 오리엔탈과실파리 알, 유충, 용의 온도와 발육율 간의 관계를 설명하는 비선형 발육율 모형의 매개변수 값들

매개변수	알	유충	용
$\rho$	0.1464 ± 0.01642	0.1149 ± 0.02340	0.1734 ± 0.01433
$T_{max}$	39.9181 ± 1.5575	43.6474 ± 4.83569	34.9290 ± 0.25869
$\Delta T$	6.7825 ± 0.7395	8.6797 ± 1.75448	5.7618 ± 0.47428
$R^2$	0.83	0.71	0.72

\* Logan 모형 (Logan et al., 1976) 에서 조정된 Lactin model (Lactin et al., 1995) 을 적용하여 통계적으로 유의한 매개변수를 얻었다 (알:  $F = 59.1432$ ;  $df = 2, 25$ ;  $P < 0.0001$ , 유충:  $F = 31.1697$ ;  $df = 2, 25$ ;  $P < 0.0001$ , 용:  $F = 32.1469$ ;  $df = 2, 25$ ;  $P < 0.0001$ ).

#### 발육기간 분포 모형

발육기간의 변이는 그림 2와 같이 Weibull 함수에 잘 적합되었다. 발육단계별 발육을 완료한 누적비율은 표준화된 시간 (연령) 과 함께 변하였다. 분포 함수에 따라 추정된 매개변수 값들은 표 3에 나타내었으며 각 곡선들은 통계적으로 유의하였다 (알:  $F = 1821.97$ ;  $df = 1, 43$ ;  $P < 0.0001$ , 유충:  $F = 877.234$ ;  $df = 1, 80$ ;  $P < 0.0001$ , 용:  $F = 3777.57$ ;  $df = 1, 52$ ;  $P < 0.0001$ ).



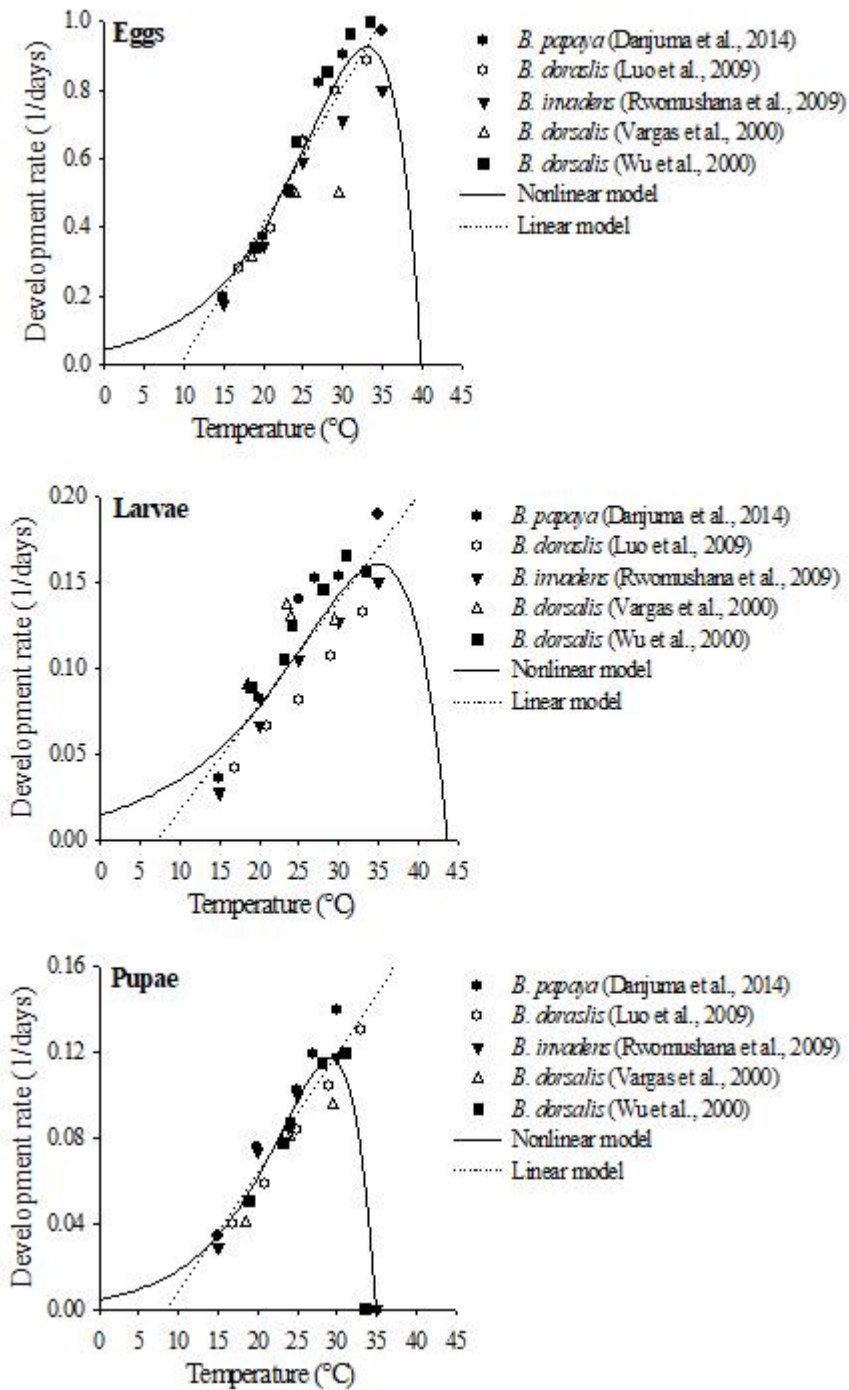


그림 1. 온도에 대한 알(A), 유충(B), 용(B) 의 발육율 (1/발육기간) 함수

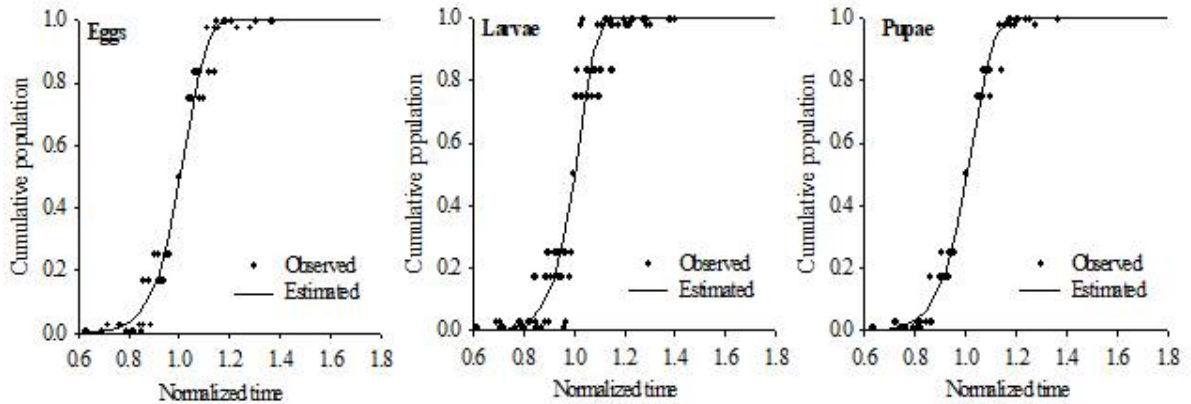


그림 2. 오리엔탈과실파리 알, 유충, 용 단계의 발육기간 분포모형

표 3. 오리엔탈과실파리 알, 유충, 용의 발육기간 분포곡선에서 추정된 매개변수들

매개변수	알	유충	용
<i>a</i>	1.0331 ± 0.00344	1.0259 ± 0.00410	1.0338 ± 0.00241
<i>b</i>	13.2744 ± 0.73949	15.7932 ± 1.34645	13.10605 ± 0.50715
$R^2$	0.98	0.92	0.99

\* 매개변수가 2개인 Weibull 함수를 적용하여 통계적으로 유의한 결과를 얻었다 (알:  $F = 1821.97$ ;  $df = 1, 43$ ;  $P < 0.0001$ , 유충:  $F = 877.234$ ;  $df = 1, 80$ ;  $P < 0.0001$ , 용:  $F = 3777.57$ ;  $df = 1, 52$ ;  $P < 0.0001$ ).

### 산란모형 구성요소들

#### 성충 노화율 모형

성충 평균수명의 역수로 표현되는 성충 노화율은 Curry and Feldman (1987)에 의해 조정된 Eyring 방정식 (Eyring, 1935) 에 잘 적합되었다 (그림 3A). 회귀분석 결과는 통계적으로 유의하였다 ( $F = 56.1398$ ;  $df = 1, 2$ ;  $P = 0.0174$ ;  $R^2 = 0.97$ ). 매개변수 값 들은 표 4에 제시하였다. 이 모형은 오리엔탈과실파리 성충의 수명을 계산하는 데에 쓰였다 (식 4).

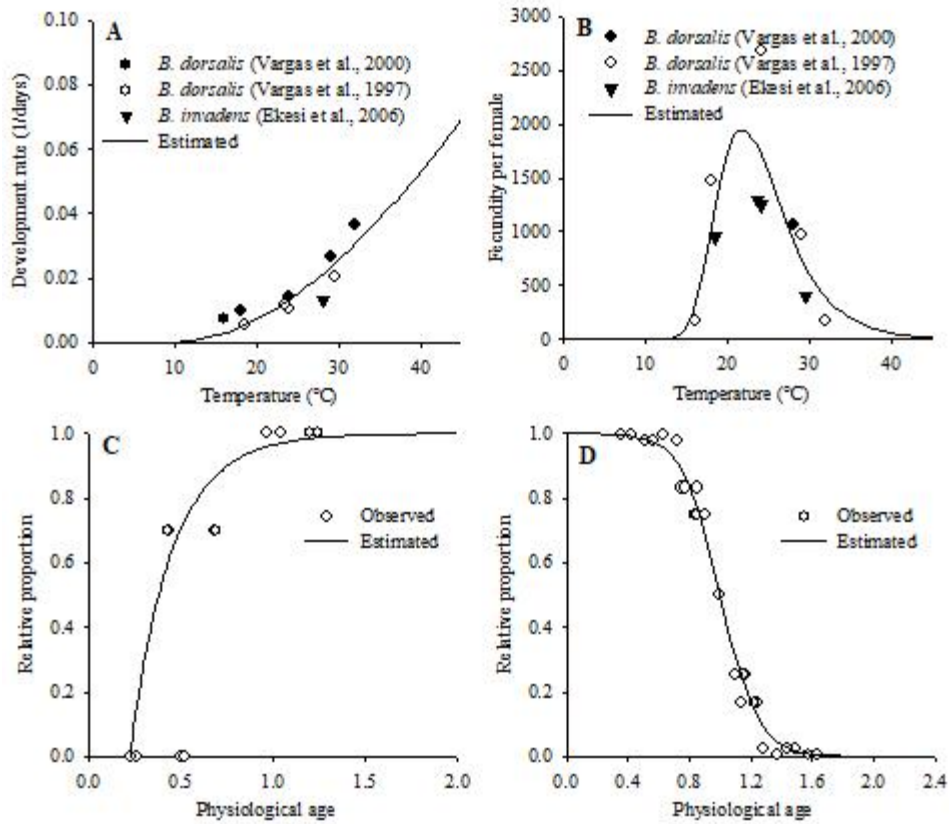


그림 3. 오리엔탈과실파리 암컷 성충 산란 모형의 주요 구성요소들. (A) 성충 노화율 곡선, (B) 온도의존적 총산란수 곡선, (C) 연령 특이적 누적 산란율 곡선, (D) 연령 특이적 생존율 곡선

표 4. 오리엔탈과실파리의 성충 노화율(1/수명), 온도 의존적 총산란수, 연령 특이적 누적산란율, 연령 특이적 생존율에 대하여 추정된 매개변수 값

모형	매개변수	추정값	SEM	R <sup>2</sup>
성충 노화율 (1/수명) <sup>1</sup>	$\phi$	0.0034	0.00133	0.97
Female aging rate	$\delta$	23.0081	10.24362	
온도의존적 총산란수	$\omega$	1947.8209	415.43625	0.61
Temperature-dependent total fecundity <sup>2</sup>	$\epsilon$	21.7772	0.81279	
	$\kappa$	4.0298	0.99424	
연령 특이적 누적산란율	$\gamma$	0.2256	0.01506	0.95
Age-specific cumulative oviposition rate <sup>3</sup>	$\eta$	0.2212	0.04258	
	$\beta$	0.9592	0.26234	
연령 특이적 생존율	$\alpha$	1.0000	0.00538	0.99
Age-specific survival rate <sup>4</sup>	$\lambda$	-0.1226	0.00476	

<sup>1</sup> Curry and Feldman (1987) 에 의해 조정된 Eyring 방정식 (Eyring, 1935) 이 적용되었으며 통계적으로 유의하였다 ( $F = 56.1398$ ;  $df = 1, 2$ ;  $P = 0.0174$ ).

<sup>2</sup> 극한값 함수 (Jandel Scientific, 2002) 가 적용되었으며 통계적으로 유의하였다 ( $F = 5.5633$ ;  $df = 2, 7$ ;  $P = 0.0358$ ).

<sup>3</sup> Weibull 함수 (suggested by Kim and Lee, 2003) 가 적용되었으며 통계적으로 유의하였다 ( $F = 91.3030$ ;  $df = 2, 9$ ;  $P < 0.001$ ).

<sup>4</sup> 시그모이드 함수 (suggested by Kim and Lee, 2003) 가 적용되었으며 통계적으로 유의하였다 ( $F = 3874.48$ ;  $df = 1, 34$ ;  $P < 0.001$ ).

#### 온도 의존적 총산란수

온도 변화에 따른 오리엔탈과실파리의 총산란수의 변화는 극한값 함수 (Jandel Scientific, 2002) 에 의해 통계적으로 유의하게 ( $F = 5.5633$ ;  $df = 2, 7$ ;  $P = 0.0358$ ,  $R^2 = 0.61$ ) 잘 설명되었다 (그림 3B). 계산된 매개변수 값들은 표4에 제시하였다. 추정된 총산란수는 최적온도 (21.8 °C, 매개변수  $\varepsilon$ ) 에서 총산란수 (1948개/성충, 매개변수  $\omega$ ) 가 될 때까지 급격하게 증가하여 이후 고온영역에서 감소하였다.

#### 연령 특이적 누적 산란율

각기 다른 온도에서 추정된 생리적 연령에 따른 누적 알 산란 곡선들은 잘 겹쳤다. 따라서 매개변수가 3개인 Weibull 함수에 성공적으로 적합되었으며 통계적으로 유의하였다 ( $F = 91.3030$ ;  $df = 2, 9$ ;  $P < 0.001$ ;  $P < 0.001$ ,  $R^2 = 0.95$ ) (식 6, 그림 3C). 추정된 모형 내에서 오리엔탈과실파리는 생리적연령이 0.2256일 때 (매개변수  $\gamma$ ) 산란하기 시작하며, 생리적연령이 약 0.4468 (매개변수  $\gamma + \eta$ ) 일 때 전체 산란수의 50%를 산란한다 (표 4).

#### 연령 특이적 생존율

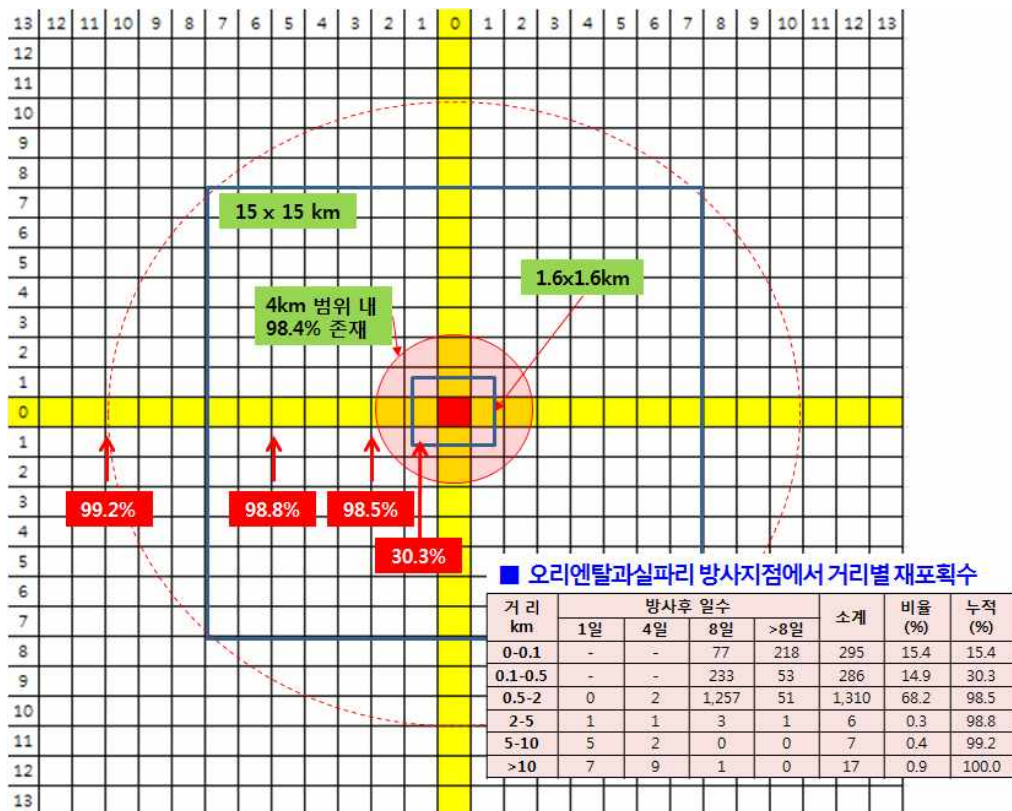
각기 다른 온도에서의 생존 곡선의 변이는 생리적 연령 단위로 표준화하는 경우 거의 겹친다 (그림 3D). 그리고 생존율 곡선은 시그모이드 함수 (식 7) 에 의해 성충의 생리적 연령이라는 독립변수를 따라서 통계적으로 유의하게 회귀되었다 ( $F = 3874.48$ ;  $df = 1, 34$ ;  $P < 0.001$ ,  $R^2 = 0.99$ ). 계산된 생존 곡선은 초기에는 치사수가 적고 연령이 중간쯤일때 빠르게 낙하하여 끝 즈음에 다시 치사율이 감소하였다. 정규분포를 사용하여 모형에 사용할 데이터 쌍들을 구하였으므로 생리적 연령 1.0에서 (매개변수  $a$ ) (표 4) 50%의 개체가 치사하였다.

## 고찰

이번 연구에서 유효적산온도 및 온도 기반 모형들을 추정하기 위하여 오리엔탈과실파리 복합종의 온도에 따른 발육, 수명 및 산란 데이터들을 종합하였다. 각기 다른 국가와 계통으로부터 얻어진 데이터셋이지만 일부 이상값들을 제외하고는 일반적으로 추정된 선과 잘 들어맞았다 (그림 1). 유충 발육기간은 알과 유충에 비해 더 퍼져 있었는데 Danjuma et al. (2014) 와 Vargas et al. (2000) 의 데이터점은 추정된 선을 중심으로 위쪽으로, Luo et al. (2009) 의 것은 아래쪽에 위치하였다. 그러나 70% 이상의 변이가 추정된 선에 의해 설명되었다. 우리 결과값은 4종의 오리엔탈과실파리 복합종의 데이터를 합침으로써 이들 종에 대한 일반적인 유효적산온도를 지정할 수 있었다. 알 ~ 알기간의 발육영점과 유효적산온도 (발육에 소요되는 총 DD) 는 오리엔탈과실파리 박멸 프로그램에서 세대기간을 계산하는 데에 요긴하게 쓰인다. 다시 말하자면 해당 프로그램 내에서 오리엔탈과실파리의 박멸 프로그램은 이들이 3세대기간 동안 발견되지 않았을 때에 종료된다 (Jeffrey, 1989; APQA, 2016). USDA 박멸 프로그램에서 발육영점 12.2°C를 기반으로 계산되는 유효적산온도 660 DD 라는 값이 현재까지 추천되고 있다 (Jeffrey, 1989). 그러나 이 모형은 최근의 연구결과들은 반영하고 있지 않으며 유효적산온도 계산에의 확실한 근거가 존재하지 않는다. 따라서 오리엔탈과실파리의 세대수를 계산하기 위해서는 여기서 구한 발육영점과 유효적산온도가 더 적절할 것이다.

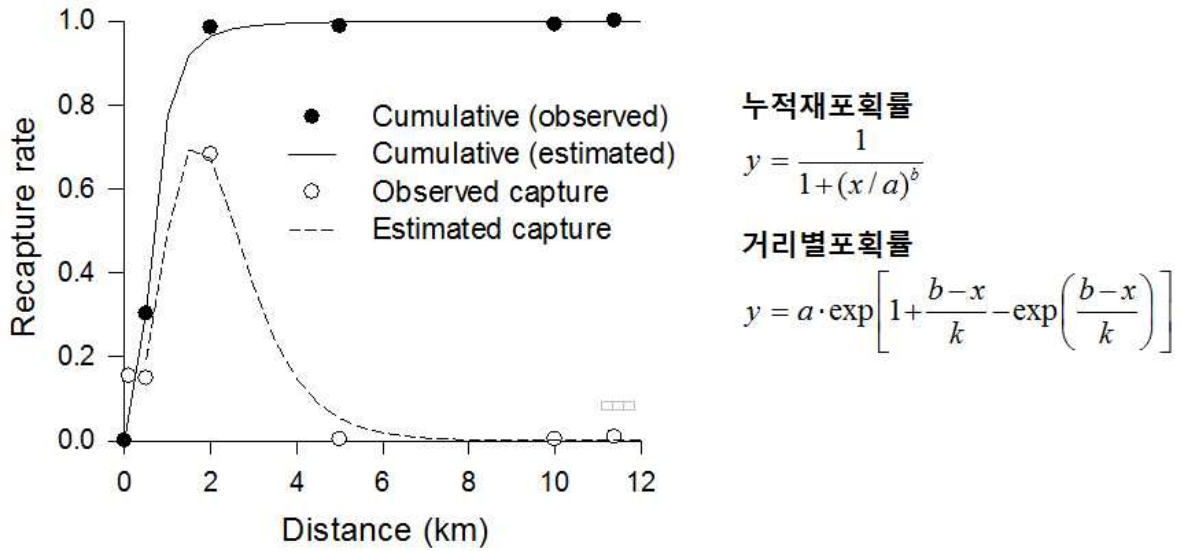
<참고자료> 오리엔탈과실파리 이동거리 및 분산능력 분석 : 트랩설치 반경 평가

- 오리엔탈과실파리는 이동능력이 매우 높은 것으로 알려져 있으며 먹이가 부족한 경우 수십 km까지 이동이 가능한 것으로 알려져 있음
- 첫 발견지점(또는 정착발생지점) 분산이동의 위험구역을 정량적으로 분석하기 위하여 기존 발표된 표식-재포획 실험자료를 이용하였음(Froerer et al., 2010)



<그림> 오리엔탈과실파리 방사 거리별 재포획율 자료(Froerer et al., 2010)  
 현재 국내 경계설정 매뉴얼의 중심지역(1.6x1.6km)과 예찰구역(14.4x14.4km)을 시각화하여 비교하였음

- 향후 분산모형 개발을 위하여 거리별 재포획률을 추정할 수 있는 모형을 수립 하였음



<그림 > 오리엔탈과실파리 방사거리별 포획률 곡선

- 거리별포획률 곡선의 매개변수  $a=0.7083 \pm 0.12608$ ,  $b=1.6827 \pm 0.35427$ ,  $c=0.9294 \pm 0.29260$  ( $R^2=0.95$ ) 이었으며 거리 1.7km에서 최고 포획률을 나타냈음
- 누적포획률 곡선의 매개변수  $a=0.6575 \pm 0.13643$ ,  $b=-2.9511 \pm 1.85181$  ( $R^2=0.98$ )을 이용하여 99.9968%(probit 9 개념)가 포획되는 거리를 추정한 결과 4.6km 이었음
- 현재 매뉴얼의 중심지역으로 지정하고 있는 1.6km 범위에서는 93.26%가 포획되는 것으로 모의(시뮬레이션) 되었음
- 거리에 따른 오리엔탈과실파리의 분산이동능력의 정량적 모형을 퀴즐랜드과실파리, 오이과실파리 등 다른 금지급 과실파리의 분산모형 개발을 위한 프로토클로 활용 가능

## 2. CLIMEX 모형을 이용한 오리엔탈과실파리의 국내 기후정착적합도 평가

새로운 지역에서의 곤충과 천적의 정착과 확산 능력을 평가하기 위해 이들의 잠재적 분포에 관한 연구가 수행되고 있다 (Jeschke and Strayer, 2008; Ulrichs and Hopper, 2008; De Meyer et al., 2010). 이를 위한 다양한 모형 기술들이 개발, 적용되어왔다. 이들 모형은 주로 기후의 기능에 따른 생물체의 지리적 범위를 예측하기 때문에 생물기후 모형이라 불리며 envelope 모형, 또는 더 넓게는 생태 니체 모형 또는 종 분포 모형으로도 알려져 있다 (Jeschke and Strayer, 2008).

생물기후 모형들은 크게 두 가지 종류로 나뉜다: 연역적 기계 모형과 귀납적 경험 모형이다. 경험적 모형은 직접적인 관찰, 측정 및 방대한 기록으로 된 데이터셋을 이용하며 기후 또는 서식처 대치에 기반하여 곤충 종의 분포를 연구한다 (Baker, 2000). 이 접근은 비생물적 변수들과 곤충 종의 발생 데이터 간의 상관관계를 기반으로 하며 이후 통계적인 기계적 학습 모형으로 발전하였다. 통계적 모형에는 일반화 선형 모형 (generalized linear model, GLM), 일반화 가법 모형 (generalized additive model, GAM), multivariate adaptive regression splines (MARS) 등이 있다. 그리고 곤충 분포를 예측하는 데에 자주 사용되는 기계적 학습 기술로서 classification and regression tree (CART), artificial neural network (ANN), genetic algorithm for rule-set production (GARP), maximum entropy (Maxent), self organizing map (SOM) 등이 있다. 기계적 모형 또는 생태물리학적 모형으로도 불리는 모형들은 생물체 또는 (생물)계의 내재적 원칙에 기반하고 있다. 따라서 SPECIES와 CLIMEX 모형에서처럼, 실험적 데이터를 통하여 얻은 곤충 종의 생리학적 내성이 종의 분포 가능성을 예측하는 데에 이용된다. 또한, 페놀로지 또는 개체군 모형은 곤충 해충의 정착을 예측하는 데에 유용한 연역적 접근 방식 중의 하나로 쓰일 수 있다.

전 세계적으로 GARP, Maxent, 또는 CLIMEX 와 같은 모형을 이용한 오리엔탈과실파리의 잠재적 분포의 예측이 수행되어 왔다. De Meyer et al., (2010)은 오리엔탈과실파리의 잠재적 분포 범위를 추정하기 위해 아프리카와 아시아의 존재 기록을 이용하여 GARP와 Maxent 모형을 적용하였다. 그러나 De Villiers et al. (2016)은 이들이 추정한 잠재적 분포 범위는 오리엔탈과실파리가 실질적으로 분포하고 있는 아프리카의 북부 사하라 지역을 포함시키는 데에 실패했다고 주장하였다. 또한 Maxent 모형 (De Meyer et al., 2010)은 낮은 적합성을 보였으며 아프리카에서 보고된 많은 존재기록을 제외시키고 있다 (De Villiers et al., 2016). Hill and Terblanche (2014)는 ENFA와 Maxent 모형을 이용하여 생태기후 측면에서 오리엔탈과실파리 복합종의 분포 범위를 투영하였다. 이들은 기존에 분리되어 있던 복합종들의 각각의 분포 데이터를 합쳤다 (*B. dorsalis*, *B. invadens*, *B. papayae*, *B. philippinensis*). Maxent 모형은 오리엔탈과실파리의 일반적인 분포 범위를 잘 예측하였으나 De Villiers et al. (2016)이 검토한 바와 같이 아프리카에서의 오리엔탈과



실과리의 북부, 남부 경계를 과소평가하고 있다.

위에서 언급한 귀납적 경험 모형은 모순이 발생하였을 때 매개변수를 조정하여 모형 적합성을 높이기 어렵다. 대조적으로, CLIMEX와 같은 연역적 모형은 조건을 만족할 때까지 기후 스트레스 함수들의 매개변수를 조정함으로써 알려진 종의 분포에 적합시킬 수 있다. 이들 스트레스 함수들의 매개변수는 기본적으로는 실험적으로 결정된 데이터셋에 의해 구성된다.

중국 지역에서 Hou and Zhang (2005)와 Wang et al. (2010), 전세계적 규모로 Stephens et al. (2007)과 EPPO (2010) 에서, 뉴질랜드에서 Kriticos et al. (2007), 인도를 중심으로 Sridhar et al. (2014), 아프리카를 중심으로 De Villiers et al. (2016) 에 의해 지금까지 다양한 CLIMEX 모형들이 제시되었다. 대부분의 모형들은 Stephens et al. (2007) 의 CLIMEX 매개변수에 기반하고 있으며 각 저자들의 오리엔탈과실과리 관심 분포 지역을 포함하도록 매개변수들이 조정되어 있다. 결과적으로 기존 모형들 간에 모의된 분포 범위는 겹치게 된다. 그러나 대부분의 모형들은 아마도 열대 지역에서 높은 적합성을 보이도록 만들어진 것들이기 때문에 기후적으로 오리엔탈과실과리에게 적합한 중국 중북부를 제외시키고 있다.

제주 지역을 포함한 우리나라 내에서의 오리엔탈과실과리의 기후 적합성 모형을 적용하기 위해서는 중국 중북부에서의 이들의 지리적 분포 특성에 잘 적합되는 CLIMEX 모형 및 매개변수를 선택하는 것이 필수적이다. 제주는 중국 내의 오리엔탈과실과리 북방 한계선과 가깝거나 약간 더 북부에 위치해 있으므로 이번 연구를 통해 제주 지역에서의 오리엔탈과실과리의 잠재적 분포를 예측하는 데에 적용하기 위한 CLIMEX 모형을 수립하고자 하였다. 우리는 중국 중북부에서의 기존의 CLIMEX 매개변수들을 검정하고, 제주 지역에 적용 가능한 매개변수 세트를 찾았다.

## 재료 및 방법

### CLIMEX 모형 개요

CLIMEX 모형은 잠재적 분포 및 상대적 풍요도의 관점에서 생물체의 공간적 분포를 추정하는 기구로써, 이 분포는 종의 분포가 기후에 의해 제한된다는 것을 전제로 생물종의 생리학적 분포한계 (영구적 니체)를 예측한다 (Kriticos et al., 2015). 따라서 이 모형은 다양한 환경적 한계선을 이용하여, 적절한 계절 동안 증가하며 부적절한 계절에는 감소하는 생물체의 개체군 성장에 기반하여 계산된다.

생태기후 지수 (EI) 는 연간 성장지수 ( $GI_A$ ) 와 스트레스 지수 (SI) (스트레스 상호지수인 SX 가 포함되기도 함)가 합쳐진 것으로써 검정된 지역 내에서 해충 정착의 잠재적 위험성을 전체적으로 평가할 수 있다.

$$EI = GI_A \times SI \times SX \quad \text{식 1}$$

성장지수 (GI) 는 적절한 계절 동안 개체군의 성장 가능성을 나타낸다. SI (저온, 고온, 습윤, 건조 스트레스로 된 4개 유형)와 SX는 부적절한 계절 동안 개체군이 얼마나 감소하는지를 나타낸다.

$$GI_A = 100 \sum_{i=1}^{52} GI_{W_i} / 52 \quad \text{식 2}$$

연간 52주동안의 주간 성장지수 ( $GI_w$ )를 평균하여  $GI_A$ 가 계산되며 이 주간성장지수( $GI_w$ )는 다음과 같이 표현된다.

$$GI_w = TI_w \times MI_w \times RI_w \times SVI_w \times LI_w \times DI_w \quad \text{식 10}$$

$TI_w, MI_w, RI_w, SVI_w, LI_w, DI_w$ 는 각각 1주 동안의 온도, 습도, 방사선량, 기질, 휴면에 대한 지수이다. 각각의 지수들은 그에 상응하는 환경 한계치를 이용하여 계산된다: 예를 들어,  $TI_w$ 의 경우 lower temperature threshold를 이용한다.

SI와 SX는 다음과 같이 계산된다.

$$SI = \left( \frac{1 - CS}{100} \right) \left( \frac{1 - DS}{100} \right) \left( \frac{1 - HS}{100} \right) \left( \frac{1 - WS}{100} \right) \quad \text{식 11}$$

$$SX = \left( \frac{1 - CDX}{100} \right) \left( \frac{1 - CWX}{100} \right) \left( \frac{1 - HDX}{100} \right) \left( \frac{1 - HWX}{100} \right) \quad \text{식 12}$$

CS, DS, HS, WS는 각기 연간 저온, 건조, 고온, 습윤지수이다. CDX, CWX, HDX, HWX 는 연간 저온-건조, 저온-습윤, 고온-건조, 고온-습윤 상호작용 지수이다. 이들 스트레스 지수들은 불리한 계절적 조건 동안에 종의 생존 능력을 제한하도록 설정되어 있으며 해당 종의 지리적 분포를 결정짓게 된다. 이들 지수들은 기 후 조건이 스트레스 한계치를 넘었을 때 축적되며 주마다 계산된다.

최종적으로, EI는 개체군이 '부재 ( $EI = 0$ )'하는 상태로부 '최대 규모 ( $EI = 100$ )'를 나타내는 사이의 값으로 계산되어 나타난다.

Sutherst et al., 2004

EI	기후 적합도
0-0.49	unsuitable (부적절)
0.5-9.99	marginal (경계선)
10-19.99	suitable (적절)
>20	optimal (최적)
100	perfect (완벽)

Sutherst et al., 2007

EI	기후 적합도
<10	lot to marginal suitability (낮거나 경계에 속하는 적합도)
10-25	favorable (적절)
>25	very favorable (매우 적절)

### CLIMEX 초기 매개변수

다양한 매개변수의 CLIMEX 모형들을 표5에서 확인할 수 있다. 이번 연구에서는 기존 연구 또는 생물학적 데이터셋으로부터 저온 스트레스 매개변수를 제외한 초기 매개변수들을 얻었다. 저온 스트레스 관련 매개변수들은 EI와 CS 값에 의해 설명되는 지리적 분포 모의 결과가 알려진 분포 특성과 일치할 때까지 수동으로 반복 조정하였다.

표 5. 기존 문헌 및 이번 연구에서 사용된 오리엔탈과실파리 또는 그 복합종의 CLIMEX 모형 매개변수

매개변수명	약자	Hou and Zhang (2005)	Kriticos et al. (2007), Stephens et al. (2007)	Wang et al. (2010)	EPPO (2010) <sup>a</sup>	Sridhar et al. (2014)	De Villiers et al. (2016) <sup>a</sup>	Values adjusted in this study
Limiting low temperature (°C)	DV0	11.8	13	11.8	9	11.8	9	9.5
Lower optimal temperature (°C)	DV1	22	25	22	30	22	25	25
Upper optimal temperature (°C)	DV2	29	33	28	35	28	33	33
Limiting high temperature (°C)	DV3	35	36	35	39	35	42	42
Limiting low soil moisture	SM0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Lower optimal soil moisture	SM1	0.5	0.25	0.8	0.25	0.5	0.25	0.25
Upper optimal soil moisture	SM2	1.75	1	1.5	1	1	1.8	1
Limiting high soil moisture	SM3	2	1.5	2	1.6	2	2	1.5
Cold stress temperature threshold (°C)	TTCS	-	2.5	-	6	-	2.5	0
Cold stress temperature rate	THCS	-	-0.012	-	-0.001	-	-0.012	0
Minimum degree-day cold stress threshold (DD)	DTCS	22	8	11.8	8	10	12	8
Degree-day cold stress rate (week <sup>-1</sup> )	DHCS	-0.0003	-0.002	-0.0004	-0.002	-0.00025	-0.002	-0.0035, -0.0006
Cold stress average temperature threshold (°C)	TTCSA	-	-	-	-	-	-	0
Cold stress accumulate rate	THCSA	-	-	-	-	-	-	0
Heat stress temperature threshold (°C)	TTHS	35	36	-	39	35	42	42
Heat stress temperature rate	THHS	0.0002	0.005	-	0.001	0.0002	0.005	0.005
Heat stress degree-day threshold (DD)	DTHS	-	-	-	-	-	-	0
Heat stress accumulate rate	DHHS	-	-	-	-	-	-	0
Dry stress threshold	SMDS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Dry stress rate	HDS	-0.006	-0.024	-0.001	-0.03	-0.0001	-0.03	-0.03
Wet stress threshold	SMWS	2	1.5	2	1.6	2	-	1.6
Wet stress rate	HWS	0.002	0.007	0.002	0.001	0.009	-	0.001
Developmental temperature threshold for cold stress (°C)	DVCS	11.8	10	11.8	15	11.8	9	10
Developmental temperature threshold for heat stress (°C)	DVHS	35	36	35	39	35	42	42
Degree-days per generation (DD)	PDD	358	470	358	450	358	380	717

<sup>a</sup> *B. invadens* 에서 구해진 매개변수

### 온도지수

발육에 필요한 최저온도 (minimum temperature for development, DV0) 는 오리엔탈과실파리 복합종에 속하는 일반적인 네 종 (*B. dorasilis*, *B. philippinensis*, *B. papayae*, *B. invadens*) 의 알-알 발육기간 계산결과를 참고하여 9.5°C로 설정되었다. 적은 최저한계 (DV1) 과 최적온도 (DV2) 는 원래 오리엔탈과실파리의 CLIMEX 매개변수를 제공하였던 Stephens et al. (2007)이 제시한 값에 따라 각각 25, 33°C로 설정하였다. 고온한계는 4, 5월의 더운 여름철에도 수단의 와드 마다니와 싱가포르에서 오리엔탈과실파리가 분포 가능하도록 설정한 De Villiers et al. (2016) 의 값을 따라 42°C로 설정하였다. 주간 온도지수 ( $TI_w$ )는 Kriticos et al. (2015) 의 설명대로 DV0-DV3 매개변수들을 이용하여 계산된다.

기본적으로, 주간 온도지수인  $TI_w$  는 주간 기온이 DV1과 DV2 사이일 때 1 이 되며 온도가 DV0 이하 또는 DV3 이상이 되면 0이 된다. 그러나 계산 과정 상, 하루중의 온도가 DV0~DV1 또는 DV2~DV3 사이에 걸쳐져서 변할 때에는  $TI_w$  값은 복잡하게 결정된다 ( $TI_w = l_q \times l_h$ ). 즉 먼저 한 주 (week) 내에서 일간 평균 최대기온과 최저기온을 이용하여 Baskerville and Emin (1969) 의 사인곡선 방법에 따라 degree-days (DD) 가 계산된다. 그리고 DV0와 DV3 사이의 사인곡선 아래 면적 (Q) 을 DV0과 DV1 이 각각 주간 온도지수에 할당되었을 때의 DD값 (A) 과 비교한다. 즉,  $Q \leq A$  이면  $l_q = Q/A$ ,  $Q > A$  이면  $l_q = 1$  이 된다. 또한 최고기온  $T_{max}$  가 DV3 보다 작고 DV2보다 클 때,  $l_h = 1 - (T_{max} - DV2) / (DV3 - DV2)$  이다. 만약  $T_{max} \geq DV3$  이면  $l_h = 0$ 이다.  $T_{max} < DV2$  일때  $l_h = 1$ 이다. 마지막으로, 연중  $TI_w$  의 평균값에 100을 곱한다.

세대 당 DD 수치 (PDD) 는 앞서 계산된 값에 따라 717로 설정하였다. DV0를 넘는 연간 degree-day 값은 연간 세대수를 계산하기 위해 사인 커브 방식을 이용하여 계산된다. 연간 세대수 변수는 연간 degree-day 총계를 PDD로 나누어 계산된다. 축적된 degree-days가 PDD보다 작을 경우 (여기서는 717DD) 다른 지수들이 매우 적합한 것으로 나타나더라도 EI는 “0” 값을 내타내게 된다.

### 습윤지수

토양수분 최저한계 (limiting low soil moisture, SM0) 과 토양수분 최적하한 (lower optimal soil moisture, SM1)은 각각 0.1, 0.25로 설정되었다 (Stephens et al., 2007). SM = 0이면 토양수분이 없음을 뜻하며 SM = 0.5이면 토양수분 함량이 50%인 상태이다. SM = 1이면 토양수분 함량이 100% 이고  $> 1$  이면 토양 용수량 ( $S_{max}$ ) 을 초과한 상태로 유수를 의미한다 (Kriticos et al., 2015). 따라서 SM0 = 0.1 이면 토양수분 함량이 10% 이며 즉 식물 영구위조점에 해당한다.

우리는 토양수분 최적상한 (upper optimal soil moisture threshold, SM2) 와 토양수분 최고한계 (limiting high soil moisture threshold, SM3) 값은 EPPO (2010) 이 제시한 값에 따라 각각 1과 1.6으로 설정하였다.

습윤지수 (MI) 는 0~1 사이의 값이며, MI = 1일때 개체군 생장은 최대에 달하고 이 값은 토양수분이 SM1~SM2 사이에 있을 때의 값이다. MI = 0 이면 개체군 생장은 0이 되고 이 값

은 토양수분이 SM0 이하이거나 SM3 를 넘을 때에 얻어진다.

### 저온 스트레스

CLIMEX 의 스트레스 지수들은 불리한 조건일 동안에 종의 생존능력을 제한하도록 설정되어 있으며 따라서 종의 지리적 분포 한계를 결정하게 된다 (Kriticos et al., 2015). 저온은 중국 북방한계에서의 오리엔탈과실과리의 계절적인 발생에 관여하는 가장 영향력있는 요인이다 (Ye, 2001; Chen and Ye, 2007; Liu et al., 2011b). 따라서 저온 스트레스 (CS) 를 조절하는 매개변수들은 선택된 검정 지역들 내에서 오리엔탈과실과리들의 잠재적 분포 능력을 평가하도록 조정되었다.

CLIMEX 모의에서 저온 스트레스는 세 가지 다른 방식으로 계산될 수 있다 (Kriticos et al., 2015). 먼저 CS degree-day 축적 방식 (CS-DD) 은 degree-days가 “최저 degree-day 저온스트레스 한계치 (minimum degree-day cold stress threshold, DTCS)”, 즉 대사활동을 유지하는 데에 필요한 최저 DDs 이하일 때, “degree-day 저온 스트레스율 (accumulates weekly stress at degree-day cold stress rate, DHCS)” 에 따라 주간 스트레스 값을 축적한다. 두 번째는, CS 최저기온 축적 방식 (CS-MT) 으로, “저온 스트레스에 대한 저온 한계 온도 (cold stress threshold temperature, TTCS)” 를 이용하며 주간 평균 최저기온 ( $T_{min}$ ) 이 TTCS 값 이하로 내려갈 때 저온 스트레스에 대한 저온율 (accumulated at the cold stress temperature rate, THCS) 만큼 CS가 축적된다. 세 번째는 CS 평균기온 축적 방식 (CS-AT) 으로,  $T_{min}$  대신 주간 평균기온 ( $T_{av}$ ) 을, 그리고 “저온 스트레스에 대한 평균기온 한계 온도 (cold stress average temperature threshold, TTCSA) 와 ”저온 스트레스에 대한 평균기온율 (cold stress average temperature rate, THCSA)“ 을 이용한다.

이번 연구에서 우리는 기존의 CLIMEX 모의와 비교를 목적으로 오리엔탈과실과리의 CS를 추정하는 데에 첫 번째 방식 (CS-DD) 을 사용하였다. 이 방식을 이용하여 인도의 북방 한계를 포함하도록 DHCS와 DTCS 매개변수가 적합된 적이 있기 때문이다 (Sridhar et al., 2014).  $i$ 번째 주의 저온 스트레스 ( $CS_{wi}$ ) 값은 다음과 같이 정의된다.

$$CS_{wi} = (DTCS - DD_{wi}) \times DHCS \quad \text{식 6}$$

$DD \geq DTCS$  일 때,  $CS_{wi} = 0$  이고 DD는 DVCS (저온 스트레스 계산을 위한 발육 한계 온도) 에 기반하여 사인 곡선 커브 계산 방식으로 얻어진다.

주간 DDs가  $n$ 주동안 연속하여 DTCS 값 이하로 떨어지면 저온 스트레스 값은 시간 경과에 따라 지수적으로 축적된다.

$$CS_{wi} = (DTCS - DD_{wi}) \times DHCS \times i \text{ (week number)} \quad \text{식 7}$$

따라서,  $n$ 주째의 CS는 다음과 같이 계산된다.

$$CS_{wi} = [(DTCS - DD_{wi}) \times DHCS \times n] + CS_{w_{i-1}} \quad \text{식 8}$$

축적된 주간 스트레스 값이 1.0 이상일 때 좋은 해당 지역에서 더 이상 존속할 수 없으며 즉, EI는 자동으로 0이 된다. 주간 스트레스 값의 평균에 100을 곱한 값이 최종 저온 스트레스 값이 된다. 즉, 연간 저온스트레스 지수 ( $CS_{yr}$ ) 은 다음과 같이 정의된다.

$$CS_{yr} = 100 \sum_{i=1}^{52} CS_{wi} / 52 \quad \text{식 9}$$

이번 연구에서는 저온 스트레스 매개변수들은 오리엔탈과실과리의 알려진 분포 지역을 포함하도록 수동적으로 조정되었다 (자세한 것은 아래 참조)

#### 고온, 건조, 습윤 스트레스

고온, 건조, 습윤과 같은 환경 조건들은 제주 뿐만 아니라 국내에서는 극한 수치에 도달하는 때가 거의 없기 때문에 제한 요소가 되지 못하므로 기존의 보고들에 따라 각 매개변수들을 설정하였다. 계산 과정은 위의 저온스트레스를 계산할 때 적용되었던 것과 같은 과정을 거친다.

고온 스트레스를 계산하기 위해 한계값 온도 모드 (threshold temperature mode) 에서 두 가지 매개변수 고온 스트레스 한계값 (heat stress temperature threshold, TTHS) 과 고온 스트레스 온도율 (heat stress temperature rate, THHS) 가 적용되며, De Viliers et al. (2016) 의 추천에 따라 각기 42°C와 0.005/주 로 설정되었다. TTHS는 DV3 와 같은 값을 경계선이다. 주간 HS (고온 스트레스) 는 주간 최고기온 ( $T_{max}$ ) 가 TTHS를 넘을 때, THHS 만큼 축적되어 계산된다.

또한, 습윤 스트레스 (WS) 계산을 위한 습윤 스트레스 한계값 (wet stress threshold, SMWS) 과 습윤스트레스율 (wet stress rate, HWS) 은 각기 1.6과 0.001로 적용하였다 (EPPO, 2010). WS는 토양 습윤 수준 (SM) 이 SMWS를 넘었을 때 축적되며, SMWS와 SM 사이의 차값에 HWS를 곱하여 WS 값을 얻는다.

건조 스트레스 (DS) 는 토양 수분 수준이 건조스트레스 한계값 (dry stress threshold, SMDS) 이하로 떨어졌을 때에 축적된다 (Kriticos et al., 2015). SMDS와 주간 토양습윤 수준 사이의 차값에 고온스트레스율 (dry stress rate, HDS) 이 곱해져 주간 DS를 산출한다. SMDS와 HDS 는 DeVilliers et al. (2016) 에 따라 각기 0.1과 -0.03 으로 설정되었다. Sridhar et al. (2014) 의 HDS = -0.0001이라는 값은 너무 낮아서 매우 건조한 지역도 적합 지역으로 분류될 수 있다.

#### 매개변수 적합을 위한 검정 지역 선정

CLIMEX 모형에는 연역적 및 귀납적 접근방식이 모두 사용된다 (Kriticos et al., 2015; De

Villiers et al., 2016). CLIMEX 모의에서 귀납적 접근방식은 모형 결과값이 알려진 종의 분포 또는 페놀로지 데이터를 포함할 때까지 매개변수들을 조정하면서, 종의 분포 범위 한계선을 정의하는 기후 스트레스 함수 속의 매개변수들을 적합시키는 추가적 방식이다 (Vera et al., 2002; Kriticos et al., 2005; Sutherst and Maywald, 2005; De Villiers et al., 2012; Kriticos et al., 2015).

제주지역은 오리엔탈과실파리의 분포 경계에 포함될 수 있기 때문에 국내의 제주에서의 이들의 잠재적 분포를 평가하기 위하여 현재의 분포범위 내에서 분포 경계선을 찾아내는 것이 매우 중요하다. 따라서 표6과 SD Fig. 1, SD Fig. 2 에 정리한 다음과 같은 지역들이 페놀로지 (연간 세대수) 데이터를 포함한 기존 기록들에 기반한 매개변수 적합에 선정되었다.

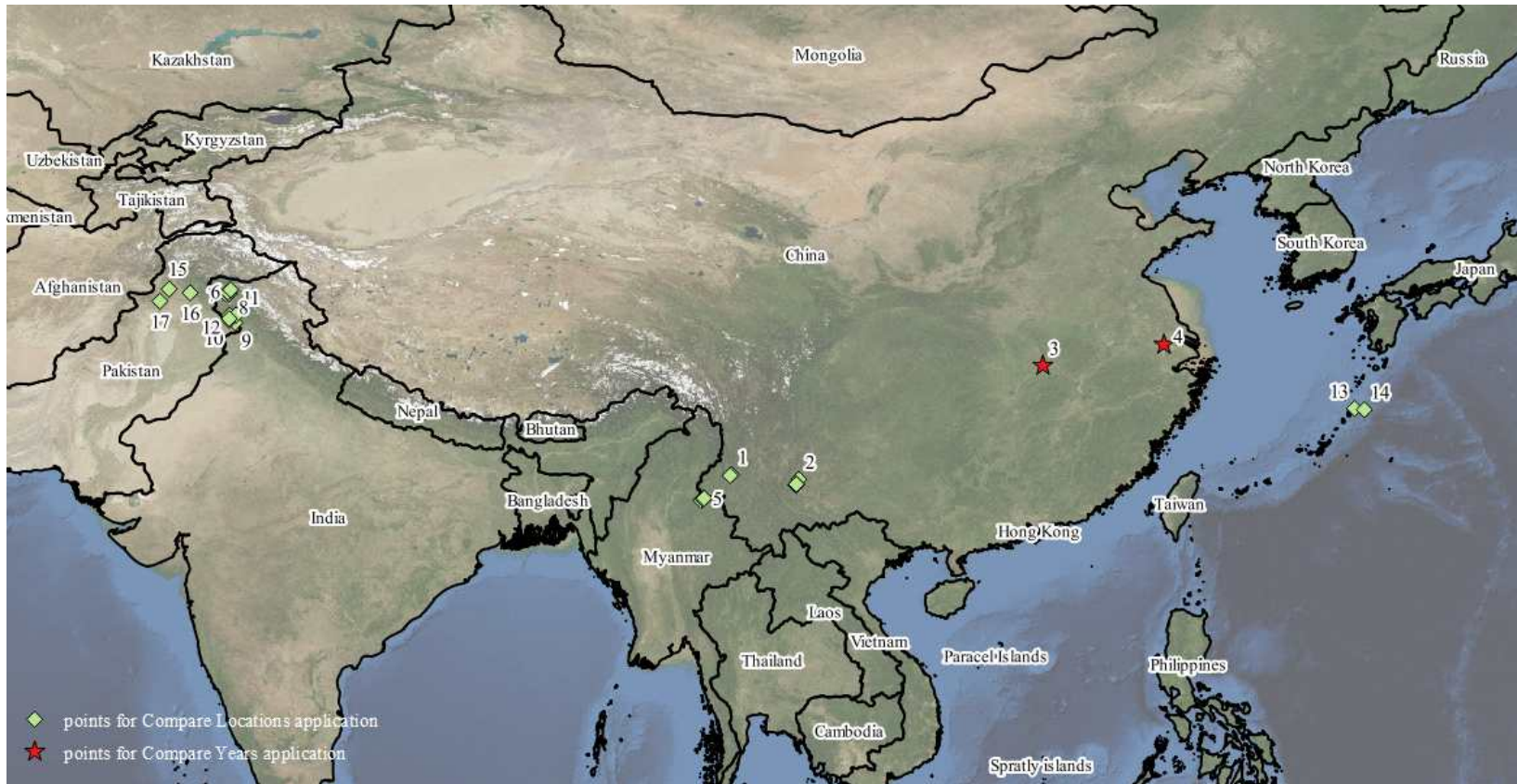


표 6. CLIMEX 모의에서 저온 스트레스 (CS) 및 연간세대수 (Gen) 값 검정을 위해 선정된 지역들의 오리엔탈과실파리 개체군의 존속 또는 비존속 여부

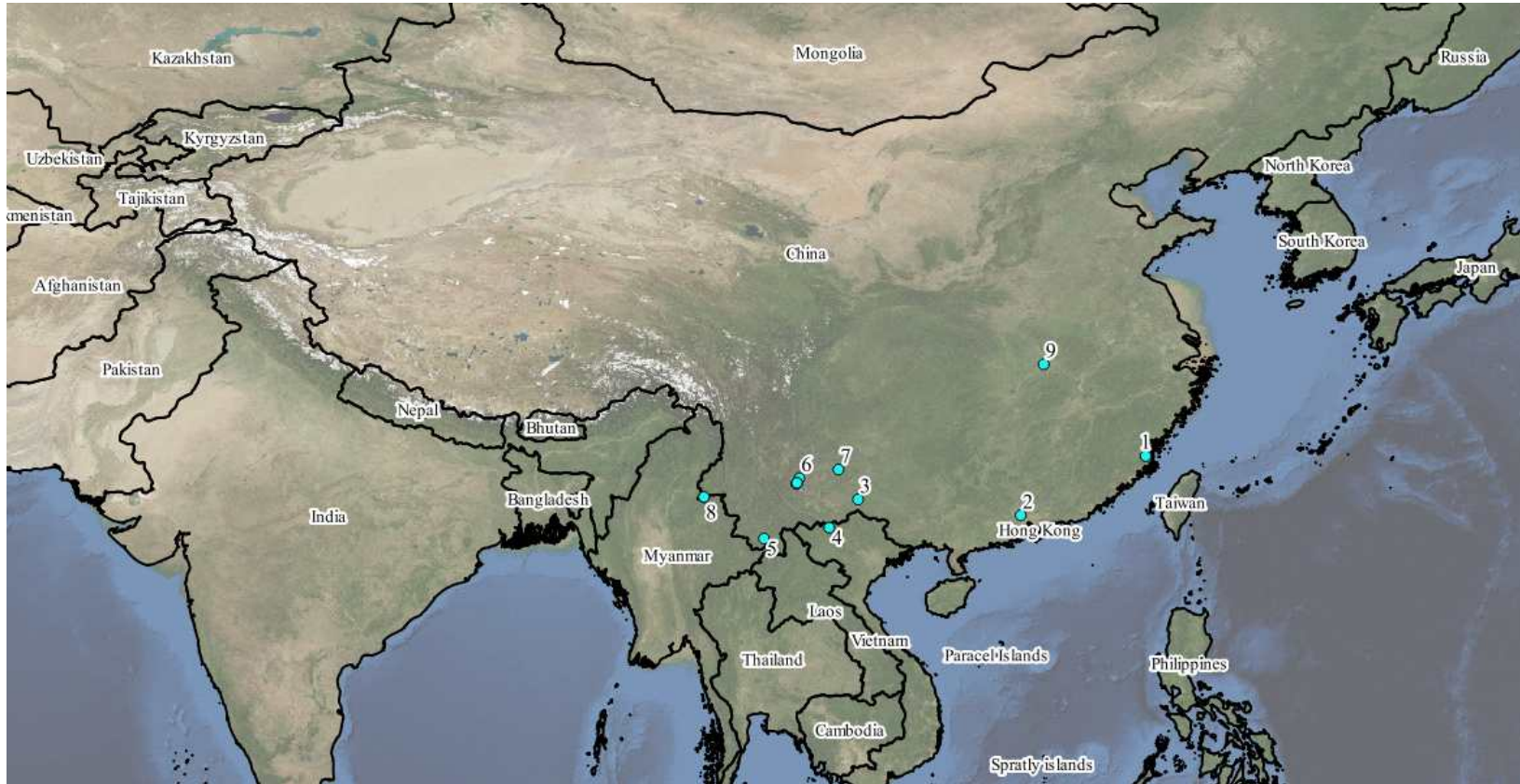
Country	Location	Coordinates		Elevation (m)	Occurrence (Phenology)	Generation per year	Reference	Population status	Tested index
		Latitude	Longitude						
China	Baoshan	N 25°10'00.00" (A) <sup>1</sup>	E 99°13'00.00"	1,825	Seasonal (Apr. to Nov.)		Chen and Ye, 2007	Persistent	CS
		N 25°07'00.00" (A)	E 99°09'00.00"	1,655	Seasonal (Apr. to Oct.)		Chen and Ye, 2007	Persistent	CS
	Guangnan	N 23°54'00.00" (A')	E 105°20'00.00"	1,160	Seasonal (no information)	3-4	Ye, 2001	Non-persistent	Gen
	Hekou	N 22°31'45.49" (B)	E 103°56'04.79"	-	Seasonal (Apr. to Dec.)	5	He et al., 2002	Persistent	Gen
	Jinghong	N 22°00'00.00" (A)	E 100°46'00.00"	550	Year-round	4	Ye, 2001	Persistent	Gen
	Kunming	N 24°56'00.00" (A)	E 102°29'00.00"	1,850	Seasonal (May to Sep.)	3	Zhang et al., 1995	Non-persistent	CS, Gen
		N 24°40'00.00" (A)	E 102°20'00.00"	1,804	Seasonal (May to Dec.)	2~	Ye and Liu, 2005	Non-Persistent	CS, Gen
	Ruili	N 24°41'00.00" (A)	E 102°23'00.00"	2,000	Seasonal (May to Dec.)	2~	Ye and Liu, 2005	Non-Persistent	CS, Gen
		N 24°42'00.00" (A)	E 102°22'00.00"	1,980	Seasonal (May to Dec.)	2~	Ye and Liu, 2005	Non-Persistent	CS, Gen
		N 24°00'46.47" (B)	E 97°51'03.40"	-	Year-round	6	Jiang et al., 2001	Persistent	CS, Gen
		N 24°01'00.00" (C)	E 97°51'00.00"	907	Year-round	5	Shi et al., 2005	Persistent	CS, Gen
		N 23°55'00.00" (A)	E 97°44'00.00"	750	Year-round		Chen et al., 2006	Persistent	CS
		N 23°59'00.00" (A)	E 97°49'60.00"	757	Year-round		Chen et al., 2006	Persistent	CS
		N 24°01'00.00" (A)	E 97°53'00.00"	760	Year-round		Chen et al., 2006	Persistent	CS
	Qujing	N 25°21'00.00" (A)	E 104°23'00.00"	2,000	Seasonal (no information)	1~2	Ye, 2001	Non-persistent	Gen
	Fujian	N 26°00'00.00" (C)	E 119°18'00.00"	-	No information	5-6	Wang et al., 2014	Persistent	Gen
	Guangzhou	N 23°20'24.18" (B)	E 113°32'13.50"	-	Year-round	7	Wu et al., 2007	Persistent	Gen
	Wuxi	N 31°29'00.96" (B)	E 120°13'55.20"	-	Seasonal (Jun. to Dec.)		Qi et al., 2008	Persistent in 2005-2006	CS
	Wuhan	N 30°27'34.69" (B)	E 114°20'55.71"	-	Seasonal (Jun. to Dec.)	4	Han et al., 2011	Persistent in 2008-2009	CS, Gen
India	Budgam	N 33°56'05.48" (B)	E 74°38'16.04"	-	Seasonal (Jul. to Oct.)		Ganie et al., 2013	Non-persistent	CS
		N 33°56'43.65" (B)	E 74°47'39.85"	-	Seasonal (Jul. to Oct.)		Ganie et al., 2013	Non-persistent	CS
		N 34°02'05.98" (B)	E 74°44'26.35"	-	Seasonal (Jul. to Oct.)		Ganie et al., 2013	Non-persistent	CS
	Marh	N 32°54'01.19" (B)	E 74°49'20.57"	-	No information		Tara and Gupta, 2016	Persistent	CS
	Samba	N 32°32'50.99" (B)	E 75°05'29.89"	-	No information		Tara and Gupta,	Persistent	CS

	SKUAST	N 32°39'18.00" (B)	E 74°48'25.20"	-	Year-round	2016 Rai et al., 2008	Persistent	CS
	Jammu							
	Srinagar	N 34°03'52.54" (B)	E 74°47'32.17"		Seasonal (Jul. to Oct.)	Ganie et al., 2013	Non-persistent	CS
		N 34°06'38.66" (B)	E 74°51'57.67"		Seasonal (Jul. to Oct.)	Ganie et al., 2013	Non-persistent	CS
		N 34°09'06.14" (B)	E 74°52'26.75"		Seasonal (Jul. to Oct.)	Ganie et al., 2013	Non-persistent	CS
	Udahampur	N 32°54'57.07" (B)	E 75°08'01.62"	-	No information	Tara and Gupta, 2016	Persistent	CS
	Udheywala	N 32°44'39.70" (B)	E 74°48'27.19"	-	No information	Tara and Gupta, 2016	Persistent	CS
Japan	Amami	N 28°22'43.85" (B)	E 129°29'29.47"	-	Year-round	Ushio et al., 1982	Persistent	CS
	Kikai	N 28°19'26.10" (B)	E 129°58'09.18"	-	Year-round	Ushio et al., 1982	Persistent	CS
Pakistan	Dargai	N 34°10'48.01" (B)	E 71°53'08.78"	-	Seasonal (Apr. to Dec.)	Syed et al., 1970	Persistent	CS
	Haripur	N 33°59'38.06" (B)	E 72°54'28.53"	-	Seasonal (Apr. to Dec.)	Syed et al., 1970	Persistent	CS
	Kohat	N 33°35'21.31" (B)	E 71°26'26.00"	-	Seasonal (Mar. to Nov.)	Syed et al., 1970	Persistent	CS

<sup>1</sup> 다음과 같이 좌표 정확도를 표시함: A: 예찰실시지점 (문헌에 언급된 좌표) / B: 지역의 중심지점 (구글지도 상의 평원 또는 거주 지역) / C: 유전분석 시료 채집지점 (문헌에 언급된 좌표)



SD 그림1. 아시아권 내에서 선택된 저온 스트레스 검정 지역들 (1) Baoshan, (2) Kunming, (3) Wuhan, (4) Wuxi, (5) Ruili, (6) Srinagar, (7) Budgam, (8) Marh, (9) Samba, (10) Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology of Jammu, (11) Udahampur, (12) Udheywala, (12) Amami, (14) Kikai, (15) Dargai, (16) Haripur, (17) Kohat



SD 그림2. 아시아권 내에서 선택된 연간 세대수 검정 지역들 (1) Fujian, (2) Guangzhou, (3) Guangnan, (4) Hekou, (5) Jinghong, (6) Kunming, (7) Qujing, (8) Ruili and (9) Wuhan.

### 중국 중북부, 후베이 성의 우한

중국 내의 오리엔탈과실파리 분포는 Wang (1996), Han et al. (2011), Wan et al. (2011) 이 보고하고 있듯이 그 침입과 함께 확산되고 있다. Wan et al. (2011) 은 윈창, 하이난, 완저우, 충칭에 걸친 중국 내의 전체적인 분포 범위를 포함하는 12 지역으로부터 오리엔탈과실파리 표본을 이용하여 그들의 유래와 점진적인 내륙 분포 확산을 평가하였다. 그들은 오리엔탈과실파리가 남중국해를 맞대고 있는 해안 지역에서 유래하여 점진적으로 확산되어 중국 본토에 자리를 잡았다고 하였다. 또한 이들 분석결과를 보면 오리엔탈과실파리가 중국 중부 내에서 최근 들어 개체군 확장을 겪었음을 알 수 있다.

우한 지역은 덥고 습한 여름을 지닌 아열대 기후로 정의되지만 겨울은 매우 춥다. 오리엔탈과실파리는 이 지역에서 2004년 처음으로 보고되었고, 유입된 이후 점차 확산되어 우한에서 경제적으로 중요한 해충이 되었다 (Han et al., 2011). 오리엔탈과실파리 개체군은 6월~12월 사이에 계절적으로 발생하며 10월 ~ 12월 동안에 최성기를 나타내고 연간 약 4세대 경과하는 것으로 조사된다 (Han et al., 2011; 감귤원 데이터 참고).

일부 기록들을 보면 중국 중부와 북부의 오리엔탈과실파리 기록은 단기적인 개체군으로 대표될 수 있다 (De Villiers et al., 2016). 개체군은 남부에 있는 영구적 서식처로부터 이주해와서 북부지역에서는 적합한 계절 동안에만 개체군을 발달시킨다는 것이다. 그러나 이 가설은 몇 년 동안이나 개체군이 존속하고 있었던 우한에서의 확산과 과실에 끼친 경제적 손실을 완전히 설명하지 못한다 (Han et al., 2011; Hong et al., 2015). Hong et al. (2015) 는 그들의 식물해충 예보 시스템을 검정하기 위하여 2007-2009 동안 우한에서의 오리엔탈과실파리의 페놀로지 데이터를 이용하였다. 게다가 Han et al. (2011) 은 11월 중순에 야외 토양에 처리한 모든 용이 우한에서 성공적으로 월동하였다고 보고하였다. 또한 이들은 적은 양의 월동용이 겨울철과 이듬해 봄 사이의 틈을 메우며 계절 초기 소규모의 초기개체군이 되리라 시사하였다. 결론적으로 우한 지역은 오리엔탈과실파리가 계절적으로 발생하면서도 겨울이 따뜻한 일부 해에는 월동 가능한 적합 지역으로 보는 것이 맞을 것이다. 따라서 이들 지역은 오리엔탈과실파리의 북방한계를 포함하기 위한 가장 적절한 검정 지역일 것이다.

그러므로 우리는 Wan et al. (2012), Han et al. (2011), Schutze et al. (2015b) 등 기존 연구자들의 오리엔탈과실파리 표본 수집 지역을 저온 스트레스 매개변수 적합을 위한 검정 지역으로 선정하였다 (표6 참고). 우리는 오리엔탈과실파리는 우한에서 겨울이 따뜻한 해에는 존속 가능하지만 보통은 월동하지 못하는 것으로 가정하였다 (아래 참고).

### 중국 장쑤성의 우시

우시는 중국 장쑤성 남부에 위치하고 있다. 이 지역은 여름철에 덥고 습윤하고 겨울에는 춥고 축축하며 연평균 기온은 18도에 눈이 매우 자주 내린다 (National Meteorological Information Center of China, <http://data.cma.cn/>).

우시 지역에 속하는 Sanguo Film and Television city에서 오리엔탈과실파리가 2003년 처음으로 발견되어 (Luo et al., 2009) 그 높은 밀도로 인하여 감귤 과원에 심각한 경제적 손상을 입혔다 (Qi et al., 2008). 이들의 발생은 6월에 시작하여 9 ~ 10월에 최성기를 이루고 11월에

끝이 난다. 해당 지역에서는 오리엔탈과실파리의 용은 2005 ~ 2006년 사이의 겨울철 동안 25% 생존율로 월동할 수 있었던 것이 관찰되었다 (Qi et al., 2008). 또한 Wang et al. (2014) 는 오리엔탈과실파리의 북부 경계지역 (우시) 개체군은 남부 개체군 (광저우, 샤먼) 에 비해 높은 저온 내성을 지니고 있다고 보고하고 있다. 따라서 오리엔탈과실파리의 경계 개체군은 새로운 지역에 침입한 이후 저온에 더 잘 적응하도록 진화한 새로운 생태형일 수 있다 (Wang et al., 2014).

따라서 우시 지역은 오리엔탈과실파리가 새로이 침입하여 정착한, 계절적 발생 지역으로 여겨진다. 우리는 우시에서 오리엔탈과실파리가 겨울이 따뜻한 해에 존속 가능하나 보통은 월동하지 못하는 것으로 가정하였다 (아래 참고)

#### 중국 윈난성 서부의 바오산

윈난성의 바오산은 서부와 남부에 각각 미얀마와 헝디안 산맥을 경계로 하고 있으며 남서 아열대 평원 몬순 기후를 나타내는 해발고도 1700-2300m 의 고원을 포함하고 있는 세로로 긴 산맥 지역으로 특성지어진다 (Chen and Ye, 2007).

바오산의 높은 고도로 인한 추운 날씨 때문에 오리엔탈과실파리는 4월 ~ 11월 동안 계절적으로 발생하며 8월에 최성기를 나타내고 12~3월 동안은 비행활동을 하지 않는다 (Chen and Ye, 2007이 2003 ~ 2006년 동안 4년간 조사함). 그러나 오리엔탈과실파리는 비슷한 위도에, 바오산에서 서쪽으로 30km 밖에 떨어지지 않은 뤼장바에서는 연중 발생한다 (Chen and Ye, 2008).

바오산에서의 오리엔탈과실파리 개체군은 뤼장바와 같이 전체 계절에 걸쳐 발생하는 곳에서 해마다 이주하여 형성되는 것은 아닌 것으로 보인다. 이는 윈난 개체군의 유전적 구조를 살펴보면 바오산 개체군은 산맥에 의해 지리적으로 격리되어 있는 뤼장바로부터 유래하지는 않은 것으로 보이기 때문이다. (Chen and Ye, 2008).

따라서 바오산 지역은 계절적으로 발생하면서 존속하는 개체군으로 여겨진다. 이 지역은 고지대로 상대적으로 추운 기후이므로 북방 한계로 보는 것이 적절할 것이다. 따라서 우리는 페놀로지가 조사된 두 지역 (Chen and Ye, 2007) 또는 유전적 변이 분석을 위해 표본이 수집된 지역 (Chen and Ye, 2008) 두 곳을 선정하였다.

#### 중국 윈난성 동부의 쿤밍

쿤밍은 남중국 내의 윈난성 동부에 위치해 있으며 남부 아열대성 습윤한 몬순 기후로 (연간 평균기온은 15.52℃) 겨울은 따뜻한 날이 많고 짧고 서늘하며 여름은 길고 따뜻하며 습윤하다.

이 지역은 오리엔탈과실파리가 3월 ~ 12 월동안 연간 2 ~ 3세대 발생하여 (Zhang et al., 1995; Ye, 2001; Ye and Liu, 2005) 계절적 발생 지역으로 분류되어왔다 (Ye, 2001).

윈난의 하플로타일 네트워크에 따르면 종내 변이가 매우 높아 이전에 식별된 것에 비해 윈난에서의 이들 파리가 더 길게 유지되어 왔거나 또는 서로 다른 근원지로부터 반복적으로 정착 과정이 있었음을 암시한다 (Shi et al., 2005). 벵갈 피오르드로부터 생성된 남서로부터 북동으로 흐르는 기류 (Chao, 1987) 는 종간 유전자 교환에 있어서 중요한 역할을 한다 (Shi et al.,

2005). 그러나 쿤밍의 유전적 다양성은 오리엔탈과실파리가 지속적으로 존재하고 있는 남서부의 화니안보다 높았다 (즉, 창시자 효과가 아님). 따라서 쿤밍에서의 유전적 다양성을 이해하기 위해서는 다음의 가정이 반드시 받아들여져야 한다: “쿤밍의 과실파리들은 주변의 여러 남서부 지역들로부터 분산되어 기류와 과실 무역과 함께 긴 장거리 확산되고 있다 (Shi et al., (2005)”. 만약 우리카 쿤밍의 오리엔탈과실파리 개체군이 성공적으로 월동하여 존속한다는 것을 무시하게 된다면 이러한 유전적 교환이 쿤밍에서 반드시 매해 일어나야 한다. 그러나 이 지역에서 오리엔탈과실파리 개체군 위상에 대해 실험적으로 검정된 적이 없음에도 불구하고 존속 불가능하며, 원난 남부로부터 올라온 이주 개체군에 의해 매해마다 군집이 재형성되는 것으로 인식되고 있다 (Ye, 2001; Ye and Liu, 2005).

따라서 우리는 쿤밍에서의 오리엔탈과실파리의 영구적인 정착 가능성을 검정하기 위하여 4개 검정 지점을 선정하였다. Zhang et al. (1995) 의 예찰지역 1곳과 Ye and Liu (2005) 의 예찰지역 3곳.

#### *인도 북부의 잠무 카슈미르*

잠무 카슈미르는 인도 북부의 주로써, 대부분이 히말라야 산맥 내에 위치하며 남부로 히마찰 프라데시와 펀자브 주와 접해 있다. 이 지역은 습윤한 아열대 기후 (Peels et al., 2007) 로 여름은 뜨겁고 (최대기온 46°C), 그리고 겨울은 온난하지만 때때로 기온이 2°C까지 내려간다. 이 주는 잠무, 카슈미르, 루다크 세 지역으로 이루어져 있다. 잠무 지역에는 오리엔탈과실파리가 구아바, 베르, 망고, 감귤 및 팔사와 같은 다양한 과실 작물들에서 추운 12월 ~ 1월을 제외하고는 연중 발생하는 것으로 알려져 있는 Udahampur, Udheywala, Marh 가 위치한 지역이다 (고도 200-400) (Rai et al., 2008; Bhagat, 2014). 또한 카슈미르 지역의 스리나가르와 버잠에서 과실파리에 대한 정밀한 조사 결과 오리엔탈과실파리는 오이과실파리 다음으로 우점하는 종이였다 (Ganie et al. 2013a). 그러나 오리엔탈과실파리는 7월 ~ 10월 사이에서 계절적으로 관찰되었다. 따라서 우리는 CLIMEX 결과값을 비교할 때, 잠무 지역은 오리엔탈과실파리에 있어서 적절 지역, 그리고 카슈미르 지역은 경계 또는 계절적 발생 지역 (즉, 평년에는 존속 불가능) 인 것으로 보았다.

카슈미르에서는 우리는 Ganie et al. (2013) 의 연구가 수행되었던 장소로써 스리나가르 구획에 속하는 Batmaloo, shalimar, Dal 을, 버잠 구획에 속하는 Chadoora, Narkara, Bugam 을 선택하였다. 잠무에서는 마찬가지로 Rai et al (2008) 이 연구했던 Sher-e-Kashmir University of Agricultural Sciences and Technology of Jammu (SKUAST of Jammu) 를, 그리고 Tara and Gupta (2016) 가 예찰을 실시했던 Samba, Udahampur, Udheywala, Marh 를 검정지역으로 선정하였다.

#### *일본 사키시마, 오키나와, 아마미*

오리엔탈과실파리가 일본에서 처음 발견된 것은 1919년 오키나와 제도의 카데나였다. 오가사와라 제도와 좀 더 북부 지역인 아마미에서는 각기 1929년과 1925에 발견기록이 있다. 사키시마, 오키나와, 아마미 제도에서 이 때 침입한 개체군은 1986년 박멸되었다 (Nakamori et al.,

1991). 이후, 1987 ~ 2008년 사이에 해당 지역에서 300마리가 넘는 과실파리들이 포획되어 잦은 재침입이 이루어지고 있음을 보여준다 (Ohno et al., 2009). 최근 들어 531마리의 오리엔탈 과실파리 성충이 2015년 9월 1일부터 10월 30일 사이에 아마미 오오시마 섬에서 포획되었다 (FAO, 2016).

잦은 재침입은 필리핀과 같은 남부 국가로부터 장거리 분산되어 오거나 국제 무역과 같이 인위적으로 유입되어 온 성충 과실파리와 관련이 있을 것이며 (Ohno et al., 2009) 사키시마와 오키나와 일부 지역들은 오리엔탈과실파리가 정착하기에는 항상 적절하였다 (Koidsumi and Shibata, 1964a). 또한 아마미는 오리엔탈과실파리의 경계 지역 또는 계절적 발생 지역으로 여겨진다 (Koidsumi and Shibata, 1964a; Fujisaki, 2016). 오키나와에서의 오리엔탈과실파리의 분포 적합성에 대한 평가는 국내 제주에서의 이들 위험성을 이해하는 창구를 제공할 것으로 보인다. Uhsio et al. (1982) 에 따르면 오리엔탈과실파리는 아마미 본섬, 키카이, 토쿠노시마, 요론, 오키노에라부에서 1974년부터 1979년 박멸될 때까지 연중 발생하였다. 따라서 우리는 북부 지역인 키카이와 아마미를 검정 지역으로 선정하였다.

#### *파키스탄 페샤와르 계곡과 풋할*

Haripur, Dargai, 페샤와르 계곡(페샤와르와 코햇)이 위치한 라왈핀디 지역은 오리엔탈과실파리의 분포 지역들 중에서도 가장 고위도에 위치하고 있다. 이들 지역의 평균 기온은 겨울철에 10 ~ 15°C에 이르며 오리엔탈과실파리가 성공적으로 생존할 수 있을 것이다. Syed et al. (1970) 은 오리엔탈과실파리 가해는 겨울철에는 멈추지만 개체군은 유지된다고 하였다. 이들 지역에서는 일반적으로 오리엔탈과실파리의 비행 활동은 계절 후기에 기온이 12.78°C 이하로 떨어지면 정지하며 이듬해 봄 3월에 기온이 19.4°C로 상승하면 기주 가해가 시작된다. 우리는 검정지역으로써 파키스탄의 Dargai, Haripur, Kohat을 선정하였다.

#### *기후데이터 세트*

CLIMEX 모의를 실시하기 위하여 월간 최저, 최고 기온, 총 강수량, 9시와 15시의 상대습도 총 5개 기후데이터가 필요하다. 우리는 CLIMEX 모의에서 종 매개변수 적합을 위해 중국과 인도, 파키스탄, 일본의 현재 기후 데이터세트를 WorldClim Version 2.0 에서 얻었다 (<http://worldclim.org/>; Fick and Hijmans, 2017). 이 데이터세트는 1970 ~ 2000년 동안 9,000 ~ 60,000에 달하는 기후 관측소 기록으로부터 추정된 것으로써, 높은 해상도의 (0.5-10 arc min 즉 0.85 및 16.92km 간격) 전세계적 기후 정보 (최저, 평균, 최고기온, 강수량, 태양 복사량, 풍속, 증기압의 월별 평균 기후 데이터) 를 제공한다 (Fick and Hijmans, 2017). 이들 30년간의 평균 데이터를 평년 기후변수로 보았다. 우리는 검정 지역인 중국 윈난성과 인도 잠무 카슈미르 주가 매우 가파른 지역이기 때문에 2.5 arc min 해상도로 된 데이터세트를 이용하였다. 이 해상도는 적도에서 4.63km 에 해당하며 인도에서는 3.77 ~ 4.70km, 중국에서는 2.42 ~ 4.49km 정도이다. WorldClim 2.0에서는 30arc sec 으로 된 더욱 높은 해상도의 데이터세트를 이용할 수 있지만 각 검정지역의 좌표 해상도는 분 단위로 되어 있거나 해당 지역의 중심점으로부터 얻은 것으로써 덜 정확하며 따라서 이 데이터세트는 고려하지 않았다. 9시의 상대습도는



WorldClim 2.0 데이터세트의 평균기온과 증기압으로부터, 그리고 Fick and Hijmans (2017) 이 제공하고 있는 수식으로부터 계산하였고 15시의 상대습도는 여기에 0.85를 곱하여 얻었다 (Kriticos et al., 2015). GeoThiff 형식 (.tif) 으로 되어 있는 각 데이터세트들을 Qgis 2.10.0 과 CLIMEX MetManager 어플리케이션을 이용하여 기후데이터 파일 (.mm) 로 변환하였다.

국내 기후데이터세트는 Epinet Inc. (R&D Center, EPINET Co., Ltd, Anyang 14056, Korea) 로부터 얻었다. 제주를 포함한 국내의 오리엔탈과실파리의 기후적합성을 투영하는 데에 현재 (2011-2020 평년), 2050년대, 2080년대의 모의 기후데이터를 이용하였다. 이들 데이터세트는 국립기상청의 기후변화정보센터가 제공하는 RCP (Representative Concentration Pathway) 8.5 기후변화 시나리오에 기반한 것이다. 이 데이터세트는 36 arc sec (거의 1km) 의 고해상도로 적도에서 1,111m, 우리나라에서는 869 ~ 931m에 해당한다.

과거 33 년 (1985 ~ 2017) 간의 후베이의 우한, 그리고 장쑤의 우시의 실질적인 관측 기후 변수들은 meteoblue<sup>®</sup>에서 구입하였다. 이들 데이터세트는 4 ~ 10km 의 공간간격, 그리고 시간단위의 시간간격으로 된 고해상도의 기후 모의 데이터에 기반하고 있다. 1985 ~ 2017년간의 제주에서의 기후변수들은 제주 기상관측소로부터 얻었다.

또한 관계 시나리오가 적용되었다. 자연적인 강우량은 CLIMEX 모형 내에서 토양 수분을 계산하는 데에 사용된다. 이 토양수분 수준은 DS와 MI 를 통해 EI 값에 크게 영향을 줄 수 있다. 우리의 예비 시뮬레이션에서 인도와 세네갈 지역은 오리엔탈과실파리가 많은 계절에도  $GI_w$  값이 0 이 되기도 하였다. 따라서 우리는 De Villiers et al. (2016) 이 제시한 대로 2.5mm 의 top-up 관계 시나리오를 적용하였다.

### *CS에 기반한 매개변수 적합과 모형 검증*

CLIMEX 모형은 Compare Location (1종 또는 다종), Compare Years, Compare Locations/Years 세 가지 종류의 모의가 가능하다 (Kriticos et al., 2015). 우리는 각 지역에서의 장기간에 걸친 평균 기온에 대한 종의 반응을 비교하는 모듈로써 CLIMEX 분석 중 가장 잘 쓰이기도 하는 Compare Locations (1종) 을 사용하였다. 또한 태양복사, 빛, 기질, 휴면, 생물요인, 스트레스 상호작용 지수 관련 매개변수들은 포함시키지 않았다.

오리엔탈과실파리의 북방 분포한계를 포함하도록 CS 매개변수를 적합시키기 위해서는 Compare Years 모듈로 중국의 우한과 우시 두 지역을 검증하였다. 이들 지역은 계절적으로, 일시적으로 발생하는 지역으로 알려져 있지만, 위에서 설명한대로 오리엔탈과실파리 용이 성공적으로 월동한 기록을 얻을 수 있었다 (Qi et al., 2008; Han et al., 2011). 따라서 오리엔탈과실파리의 정착 능력에 대한 가정에 대하여 두 가지 시나리오를 사용하였다. 첫번째는 우한에서 2009년에 오리엔탈과실파리가 성공적으로 월동하였다는 기록에 기초한 것이다. 따라서 Han et al. (2011) 의 결과로부터 얻은 전체 실험 기간 동안의 용 사망률 21%에 기반하여 CS 값이 21 이 되도록 DTCS와 DHCS 매개변수를 조정하였다. 두번째는 DTCS와 DHCS 는 CS값이 35가 되도록 적합되었다. 이 조건은 2006년에 우시의 야외환경에서 오리엔탈과실파리 용의 치사율이 35%였던 것을 참고하였다 (Qi et al., 2008). 또한 각 모형별로 이들 두 지역에서 1985 ~ 2017 년 동안의 연간 CS 값을 비교하였다.

건조와 같은 불리한 조건 역시 오리엔탈과실파리 용의 생존에 영향을 미칠 수 있다 (Vargas et al., 1987). 그러나 우한의 경우 모든 용들은 11월부터 이듬해 봄까지 모두 생존하였으며 (Han et al., 2011), 우시에서는 실험이 감귤 과원에서 수행되었다 (Qi et al., 2008). 따라서 두 실험에서 얻어진 사망률에는 건조의 영향은 없는 것으로 가정하였다. 따라서 우리 실험의 결과는 저온의 영향을 약간 과대평가하였을 수도 있다. 이는 제주 지역에 해당 모형을 적용하기에는 너무 기준이 약한 것이 아니냐는 논란을 피하기에는 좋을 것이다.

우리는 평년 동안의 기후 데이터셋을 이용하여 선택된 매개변수들의 견고성을 확인하고자 Compare Locations 로 선택된 모든 검정 지역들 간의 CS 값들을 비교하였다. 위에서 언급한대로 오리엔탈과실파리는 평년 (1970 ~ 2000) 에는 우한, 우시, 스리나가르, 버잠에서는 존속하지 못하는 것으로 가정하였다. 마지막으로 우리는 시나리오를 만족하며 오리엔탈과실파리 분포범위 내에서  $CS < 100$  (존속 가능) 과  $CS > 100$  (존속 불가능) 기준을 성공적으로 만족시키는 가장 적절한 매개변수들에 관하여 논의하였다.

#### 세대수를 이용한 모형 검증

먼저 설명한대로 CLIMEX 는 PDD와 DV0 매개변수를 이용하여 연간 세대수 즉, 세대수 지수를 생성한다. 이 지수는 모형 결과들 (즉 세대수 지수) 과 관찰된 값들을 비교함으로써 CLIMEX 모형의 견고성을 평가하는 데에 매우 유용하다. 각 지역에서 알려져 있는 오리엔탈과실파리의 연간 경과 세대수를 표6에 정리하였다.

모형의 예측 정확도는 관찰값과 CLIMEX 모형 값 사이의 차값을 이용하여 Chi-squared 검정으로 수행하였다. Chi-squared 검정의 검정값은  $[(\text{Observed} - \text{Predicted generations})^2 / \text{Mean}]$  (Sokal and Rohlf, 1981) 으로 계산되었다. 자유도는  $n-2$ 로 적용되었다 ( $n$ 은 샘플 크기, 즉 검정 지역의 개수).

#### 주간 생장지수 ( $GI_w$ ) 를 이용한 모형 검증

위에서 설명한대로 CLIMEX는 주간 온도, 습윤지수 등을 이용하여 주간 생장지수 ( $GI_w$ ) 를 계산한다. De Villiers et al. (2016) 이 추천한대로 계절적 페놀로지를 모형 결과값으로부터 얻은  $GI_w$  값과 함께 시각적으로 비교하였다. 각 지역의 페놀로지 데이터는 발표된 문헌들로부터 얻었다: 중국의 루이리 (Chen et al., 2006), 우한 (Han et al., 2011), 바오샨 (Chen and Ye, 2007), 쿤밍 (Ye and Liu, 2005), 져수이 (Lin'an, Nanzhuang, Qinglong) (Zhang et al., 2005), 수저우 (Meng et al., 2008), 인도의 루디아나 (Mann, 1996), 다르와드 (Ravikumar and Viraktamath, 2006), 나디아 (Mohanpur, Jaguli) (Das et al., 2017), 파키스탄의 라왈핀디 (Chaudhry et al., 2000), 페샤와르 (Khattak et al., 1990), 일본의 미야코 섬과 야에야마 섬 (Iwahashi, 1984). 비교를 위하여 페로몬트랩에 잡힌 오리엔탈과실파리의 밀도는 월별 총합값으로 나타내고 최대 발생수에 대한 비율로 표준화시켰다.

#### 국내 적용

국내에서의 오리엔탈과실파리의 분포 가능성을 예측하기 위해 최종 매개변수들을 적용하였

다. 또한 1985 ~ 2017 동안의 제주 지역 (제주시, 서귀포시, 고산, 성산) 에서의 CS 값을 검정하였다. EI값은 Sutherst et al. (2004)의 제안에 따라 범주화하였다:

Sutherst et al., 2004

EI	기후 적합도
0-0.49	unsuitable (부적절)
0.5-9.99	marginal (경계선)
10-19.99	suitable (적절)
>20	optimal (최적)
100	perfect (완벽)

## 결과

### 조정된 CLIMEX 모형 매개변수 및 검정결과

시나리오 1, 2를 각각 만족시키는 DHCS 매개변수는 각기 -0.0035, 0.0006으로 결정되었다 (DTCS 값은 미리 8DD로 고정하였다). 이들 매개변수 뿐 아니라 다른 CLMEX 매개변수들도 각 검정지역에서의 오리엔탈과실파리의 페놀로지와 연간 기후를 고려하여 기존 보고들에 기초하여 결정되었다 (표5, 6 참고, 알려진 분포와의 비교는 SD Fig. 3, 4 참고).

매개변수 DHCS 가 -0.0035로 설정되었을 때 (시나리오1), 우한에서 1985 ~ 2017년의 기간 동안 40% 의 해가 CS 값이 100 이하로 계산되었다 (Fig. 4A). 그러나 오리엔탈과실파리는 같은 기간 동안 오직 1999년과 2007년에만 생존 가능했을 뿐이다 (Fig. 4B). DHCS가 -0.0006으로 설정되었을 때 (시나리오2)에는 CS 값은 1985 ~ 2017년의 기간 동안 우한과 우시에서 모두 100 이하였다.

평년 기후 데이터세트로부터 얻어진 기존 모형들과 이번 연구의 시나리오 계산된 CS 값들을 표7에 나타내었다. 시나리오1과 Kriticos et al. (2007), De Villiers et al. (2016), Hou and Zhang (2005) 의 모형 매개변수들은 우한, 우시, 스리나가르, 버잠에서 평년 동안 오리엔탈과실파리가 존속하지 못한다는 우리의 일반적인 가정에 잘 적합되었다. 그러나 Hou and Zhang (2005) 는 우시에서 2006년 (CS>100 이 되어야 함)에는 적합에 실패하였다. 시나리오2의 결과는 모든 검정 지역에서 매우 낮은 CS를 산출하였으며 네 곳의 존속불가 지역에서도 성공적으로 개체군이 유지되는 것으로 나타나 Wang et al. (2010), Sridhar et al. (2014) 와 비슷한 결과를 보였다. EPPO (2010)의 예측은 대부분 지역에서 CS 값을 과대평가하였다.

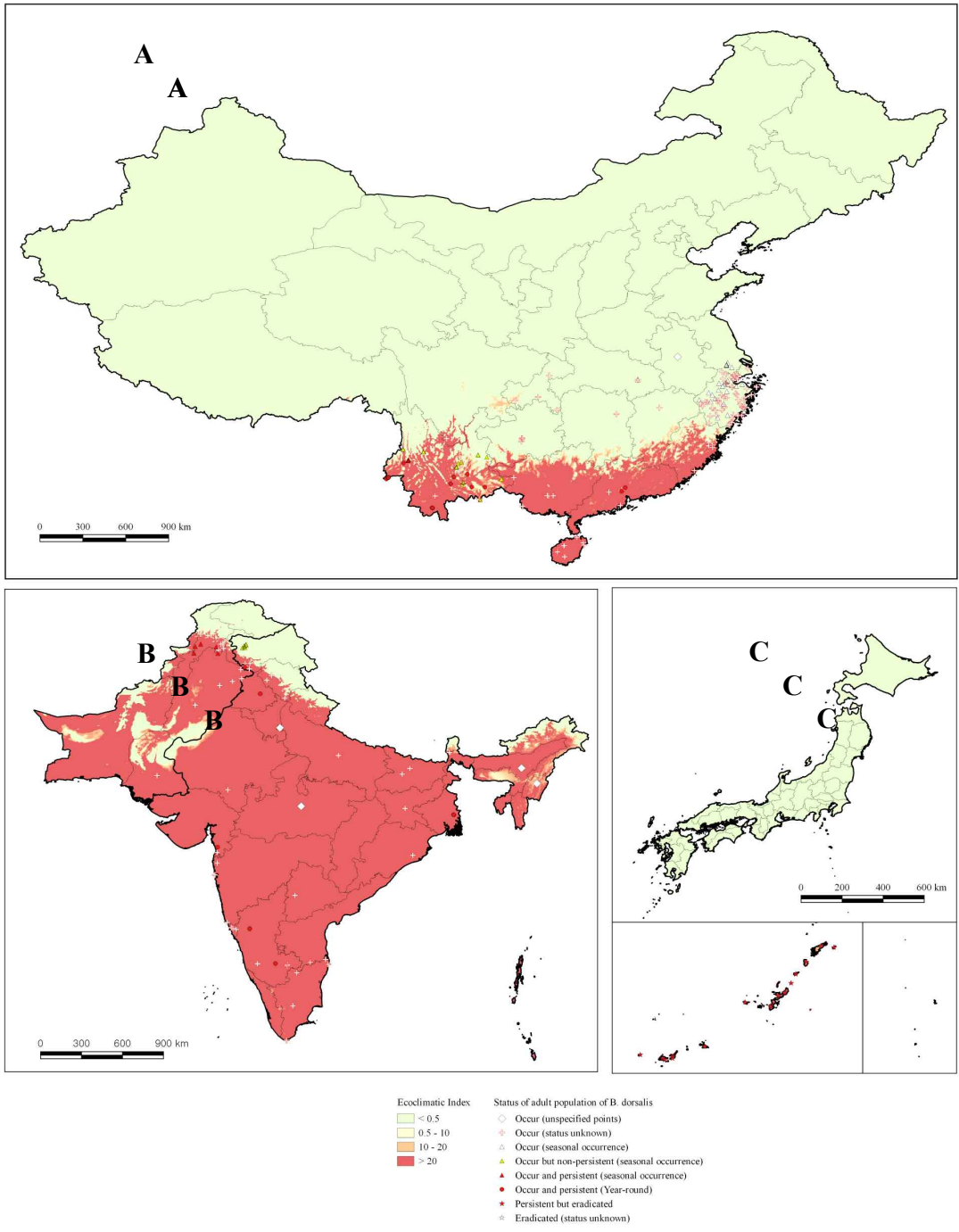
기존 연구에 의해 존속 불가능 지역으로 여겨졌던 쿤밍에서는 EPPO (2010) 를 제외한 모든 모형에서 CS 값이 100 미만으로써 월동 개체군이 성공적으로 생존 가능함을 시사하였다. 우리 시나리오 1에서는 쿤밍에서 15 ~ 39의 CS 값이 출력되었다 (표7).

CLIMEX 모형에 의해 예측된 연간 세대수는 이번 연구에서 구한 모형과 Kriticos et al. (2007) 의 모형에서 얻어진 값과 유의하게 다르지 않은 것으로 나타났다. 그러나 Hou and

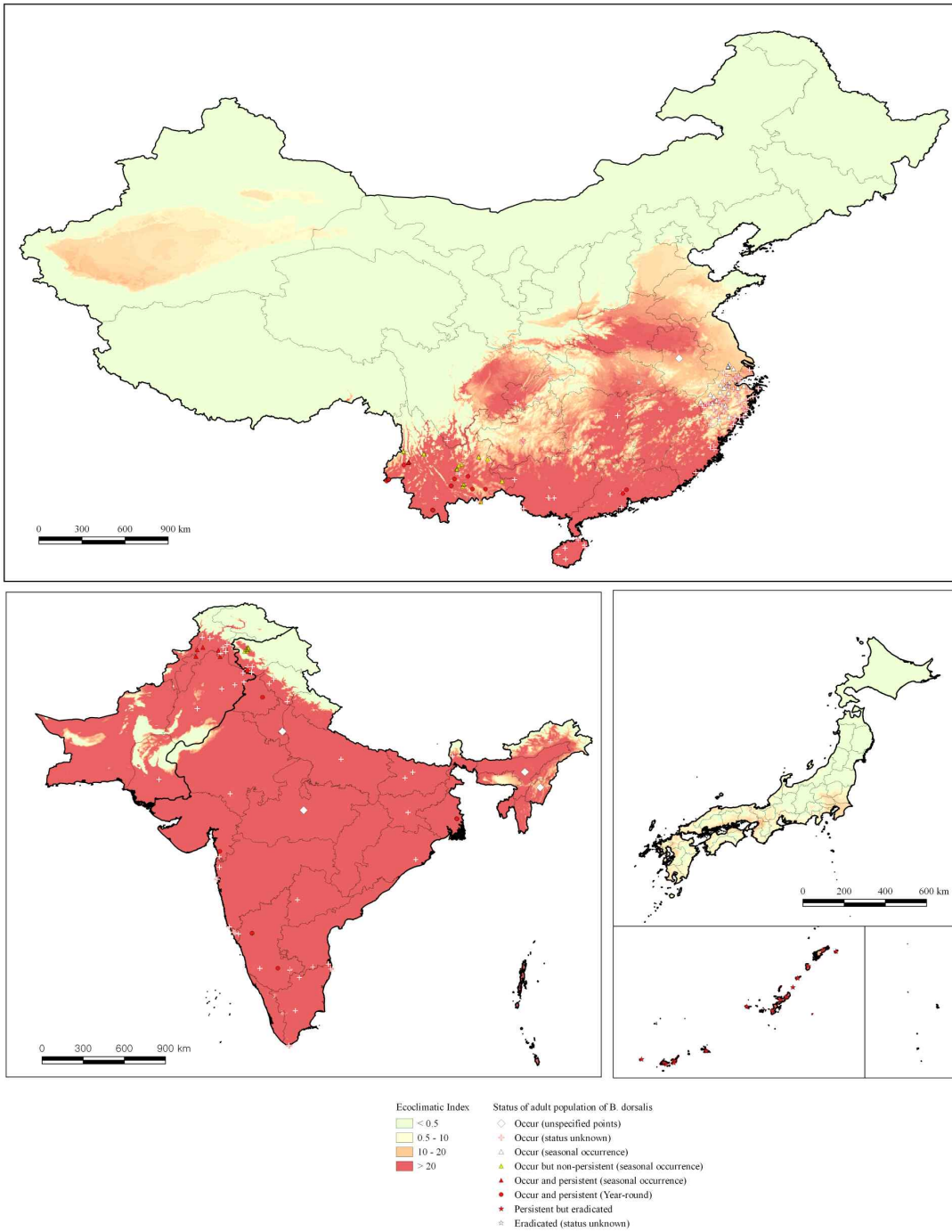
Zhang (2005), Wang et al. (2010), Sridhar et al. (2014), EPPO (2010), De Villiers et al. (2015) 은  $P=0.05, 0.01$  에서 유의하게 다르게 나타났다.

모형에 의해 예측된 주간 GI ( $GI_w$ ) 값은 다양한 지역에서의 실제 계절적 발생 데이터와 비교하여 Fig. 5~Fig. 8 에 제시하였다. 중국의 경우 예측된  $GI_w$ 는 겨울철에 값이 낮다가 봄부터 증가하기 시작하여 관찰된 페놀로지와 일반적으로 잘 맞았다. 그러나 우한과 수저우를 제외한 대부분 지역에서 파리가 매우 많은 여름철에  $GI_w$ 는 낮은 값으로 유지되었다 (그림5). 이러한 차이는 인도 남부 카르나타카 주의 Dharwad와 북서부의 서벵골에 위치한 Nadia 에서도 나타났다 (그림6). 여름철 동안의 낮은  $GI_w$  값은 낮은 MI 값에 의한 것이었다 (데이터는 제시하지 않음).

여름철 동안  $GI_w$  값의 급감은 인도 루디아나와 파키스탄의 라왈핀디, 페샤와르에서도 (그림7) 확인된다. 이 경우는 TI (즉 고온) 가 오리엔탈과실파리 개체군 풍요도에 크게 영향을 미치고 있었다. 반면 일본에서는 한해 내내  $GI_w$  값이 0.1 ~ 0.3으로 낮게 유지되었으며 겨울철을 제외하고는 이러한 현상은 대개 지나치게 높은 SM 에 의한 것이다 (데이터는 제시하지 않음).



SD 그림 3. 시나리오 1의 종 매개변수로부터 얻은 오리엔탈과실파리의 생태기후지수와 실제 발생여부와의 관계 (A) 중국, (B) 인도와 파키스탄, (C) 일본



SD 그림 4. 시나리오 2의 종 매개변수로부터 얻은 오리엔탈과실파리의 생태기후지수와 실제 발생여부와와의 관계 (A) 중국, (B) 인도와 파키스탄, (C) 일본

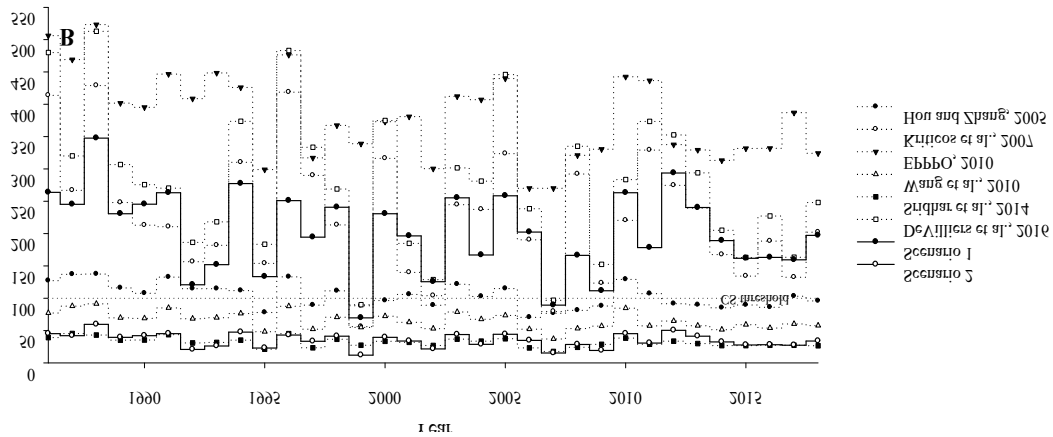
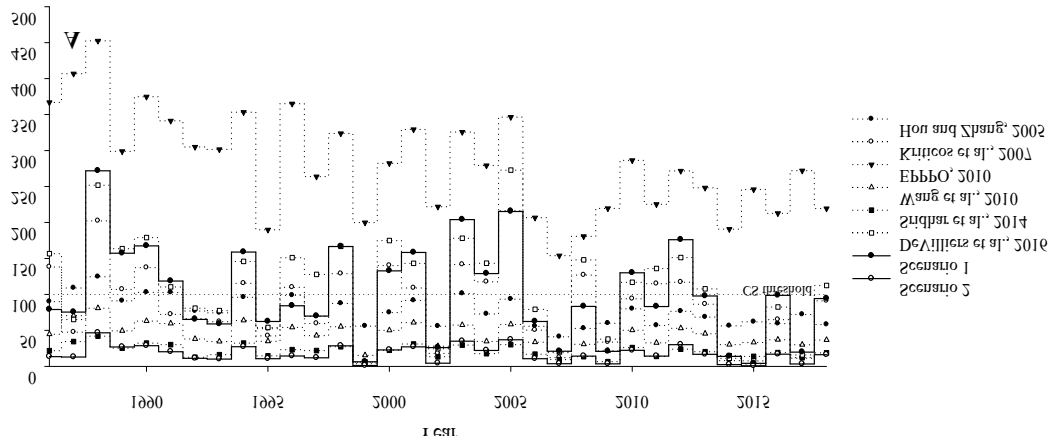


그림 4. 우한(A) 및 우시(B)에서 각종 CLIMEX 매개변수들과 Compare Years 모듈을 이용하여 계산한 저온 스트레스 값의 연간 변화. 조정된 CS 관련 매개변수들의 적합성을 평가하기 위하여 시나리오 1과 시나리오 2의 CS 값을 비교하였다.

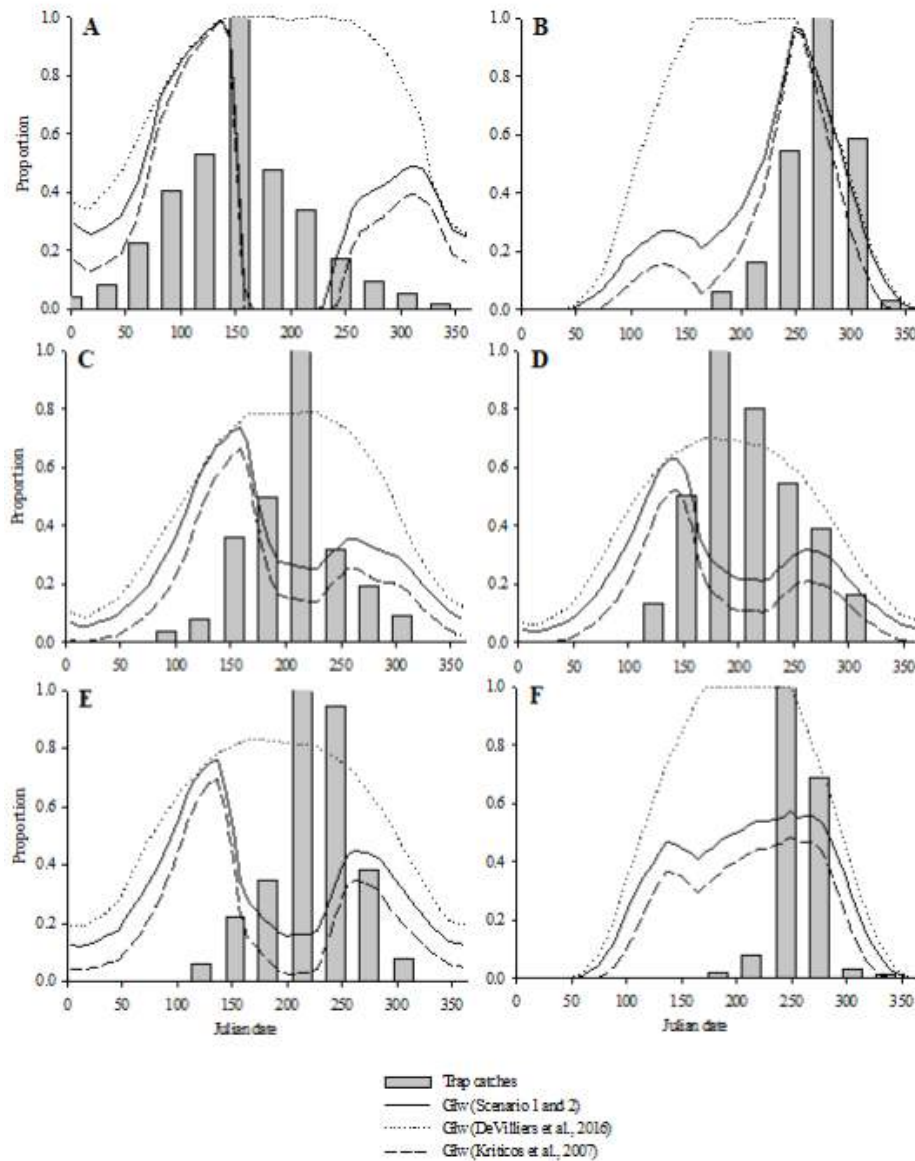


그림 5. 오리엔탈과실파리 성충의 실제 페놀로지와 CLIMEX 의 주간 성장지수 ( $GI_w$ ) 값의 비교. 페놀로지 데이터는 기존 문헌에서 얻었음 (Ye and Liu, 2005; Zhang et al., 2005; Chen et al., 2006; Chen and Ye, 2007; Meng et al., 2008; Han et al., 2011)

(A) 루이리, (B) 우한, (C) 바오샨, (D) 쿤밍, (E) 쟈수이, (F) 수저우



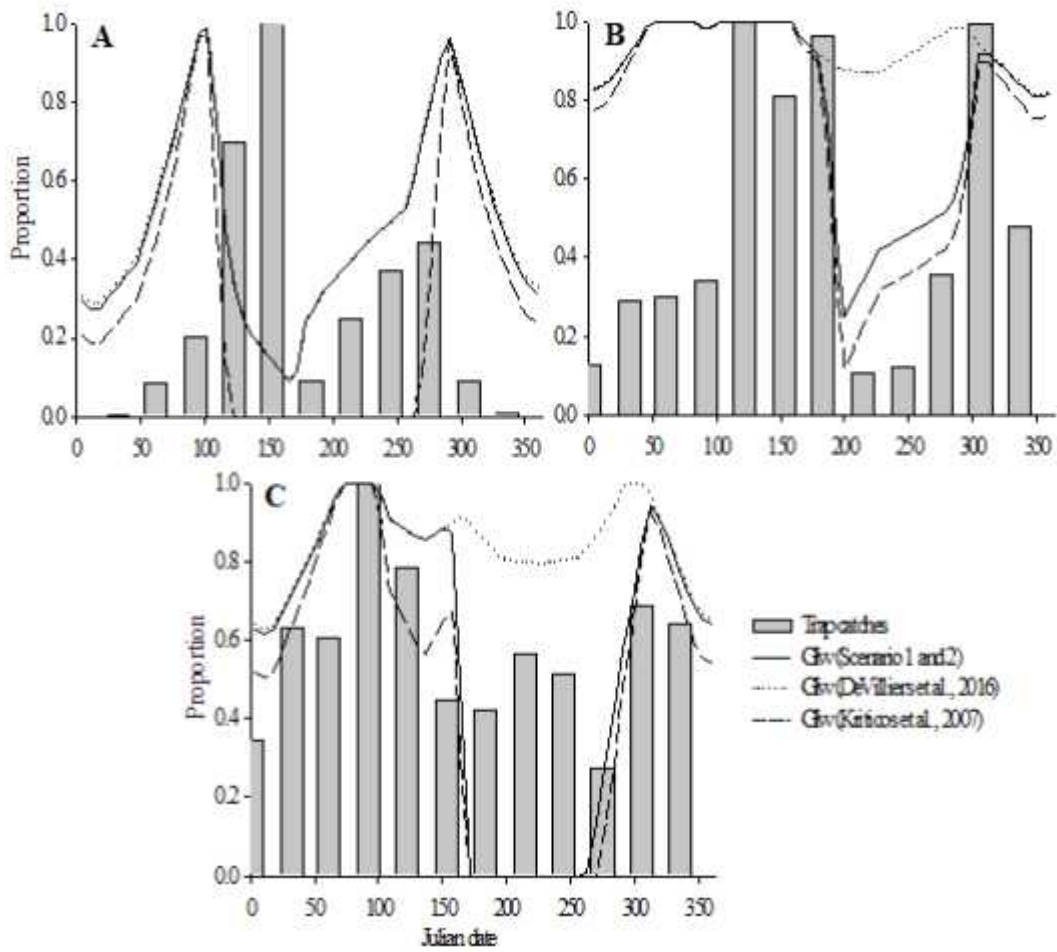


그림 6. 오리엔탈과실파리 성충의 실제 페놀로지와 CLIMEX의 주간 성장지수 ( $GI_w$ ) 값의 비교. 페놀로지 데이터는 기존 문헌에서 얻었음 (Mann, 1996; Ravikumar and Viraktamath, 2006; Das et al., 2017) 인도 (A) 루디아나, (B) 다르와드, (C) 나디아 (자굴리, 모한푸르)

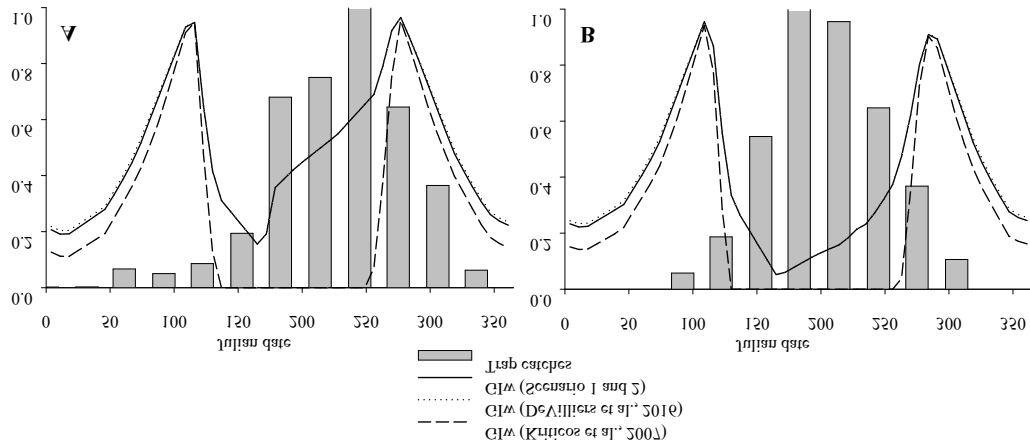


그림 7. 오리엔탈과실파리 성충의 실제 페놀로지와 CLIMEX 의 주간 성장지수 (GI<sub>w</sub>) 값의 비교. 페놀로지 데이터는 기존 문헌에서 얻었음 (Khattak et al., 1990; Chaudhry et al., 2000)

파키스탄 (A) 라왈핀디, (B) 페샤와르

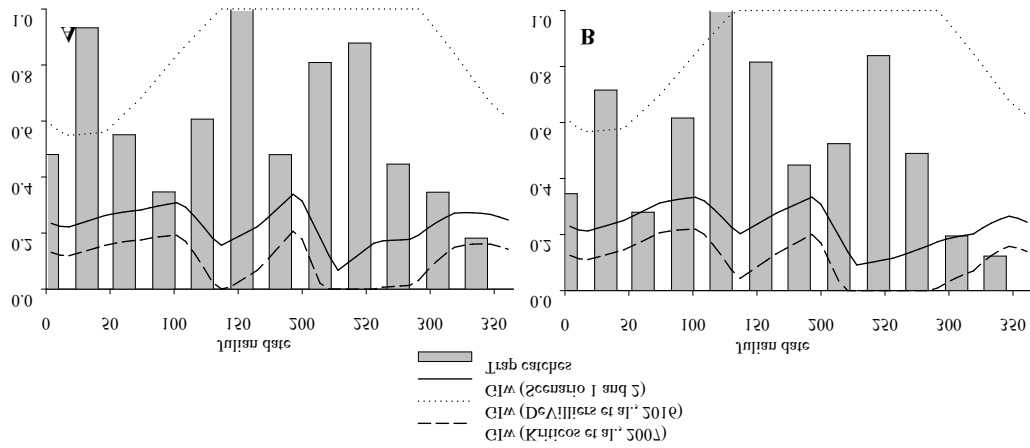


그림 8. 오리엔탈과실파리 성충의 실제 페놀로지와 CLIMEX 의 주간 성장지수 (GI<sub>w</sub>) 값의 비교. 페놀로지 데이터는 기존 문헌에서 얻었음 (Iwahashi, 1984)

일본 (A) 미야코, (B) 야에야마

표 8. 각기 다른 지역 내에서 오리엔탈과실파리의 연간 세대수에 대한  $\chi^2$ -검정 비교 결과

Location	No. of points	Observed no. of generations	Predicted no. of generations by various CLIMEX models				
			Hou and Zhang (2005), Wang et al. (2010), Sridhar et al. (2014)	Kriticos et al. (2007)	EPPO (2010)	De Villiers et al. (2016)	Present study
Fujian	1	5.5	8.7	5.8	9.0	10.6	5.4
Guangzhou	1	7	10.3	7.0	7.0	12.4	6.3
Wuhan	1	4	7.2	4.9	7.3	8.7	4.4
Guangnan	1	3.5	7.2	4.7	7.8	9.2	4.6
Hekou	1	5	11.7	8.0	11.6	13.7	7.0
Jinghong	1	5	11.6	7.9	11.5	13.6	7.0
Kunming	3	2	4.4	2.7	5.3	6.3	3.1
Qujing	1	1.5	4.3	2.7	5.2	6.1	3.0
Ruili	2	5	9.6	6.5	9.9	11.7	6.0
$\Sigma \chi^2$			40.3172	5.7869	46.6269	86.3060	4.4775
$P > \Sigma \chi^2$			0.0171	0.8792	0.0114	0.0001	0.9418

<sup>1</sup>  $\chi^2$ 값은 다음과 같이 계산되었다: (관찰값 - 모형 예측값)<sup>2</sup>/평균 (Sokal and Rohlf, 1981)

### 국내에서 기후적합성 투영

시나리오 1과 2를 각기 적용하였을 때, 제주 지역에서 1985 ~ 2017년의 30여년간의 CS 값의 변화는 그림9에 제시하였다. 시나리오2의 결과값은 CS 값이 100 이하가 됨으로서 오리엔탈과실파리 개체군이 어느 해든 제주 지역에서 성공적으로 월동하는 것으로 나타난다. 그러나 시나리오 1을 적용하였을 때의 CS 값은 제주, 고산, 성산에서 100을 넘는 상태로 유지되어 겨울철동안 개체군이 절멸하였다. 그리고 서귀 지역의 경우 겨울이 따뜻한 몇몇 해 (1990, 1992, 1998, 1999, 2002, 2004, 2007, 2009년) 에 개체군이 월동가능하게 되는 것으로 나타났다.

국내에서 RCP 8.5 시나리오를 따르는 미래기후에 대한 오리엔탈과실파리의 기후 적합성을 투영하여 그림10, 그림11에 각기 나타내었다. 시나리오 1의 경우 2010년대에는 우리나라 대부분 지역이 부적절 기후 ( $EI < 0.5$ ) 로, 서귀포시의 일부 지역만 경계에 위치하였다 ( $EI = 0.50 - 9.99$ ). 그러나 2050년대에는 제주 섬의 남부 해안지역이 적절 기후대 ( $EI = 10 - 19.99$ ) 에 들었다. 게다가 2090년대에는 그 범위가 제주 해안가 일대로 확장되었으며 남부 일부지역은 최적 지역 ( $EI > 20$ ) 이 되었다.

시나리오2의 경우 2010년대에는 국내 산간지역을 제외한 모든 지역들이 경계지역 내에 들었으며 제주 남동부와 대구는 적절 지역이었다. 2050년대부터 제주에 최적 지역이 나타나기 시작하고 2090년대에는 내륙에도 분포하였다. 더욱이 대부분 저지대는 적절지역으로 분류되었다. 국내에서 오리엔탈과실파리가 정착하지 못하도록 하는 가장 중요한 요인은 SD 그림 5, 6에서 보여주듯이 저온 스트레스 (CS) 였다.

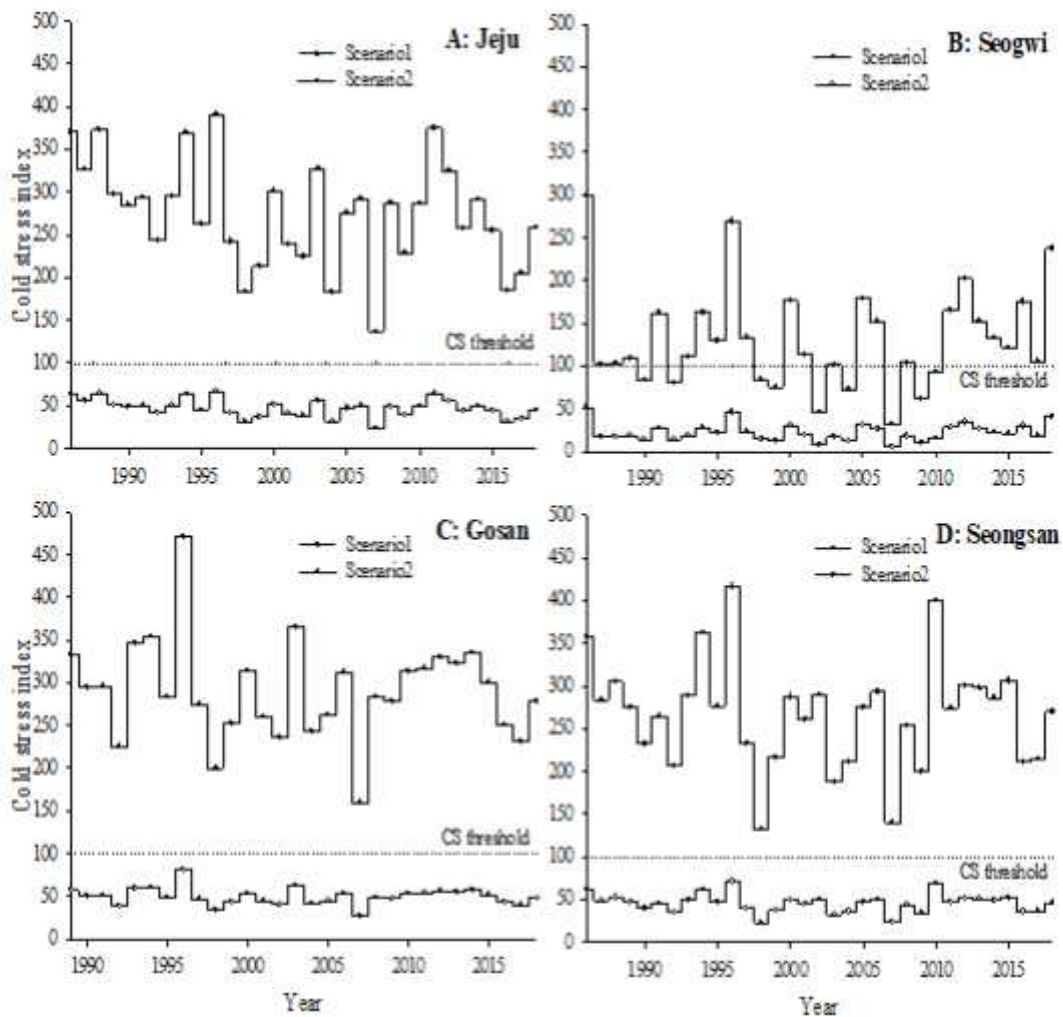


그림 9. “Compare Years” 모듈로 계산된 제주에서의 연간 저온스트레스 (CS) 변화. 시나리오 1 (DHCS = -0.0035/주), 시나리오 2 (DHCS = -0.0006/주)에 따른 CS 값들을 비교하였다.

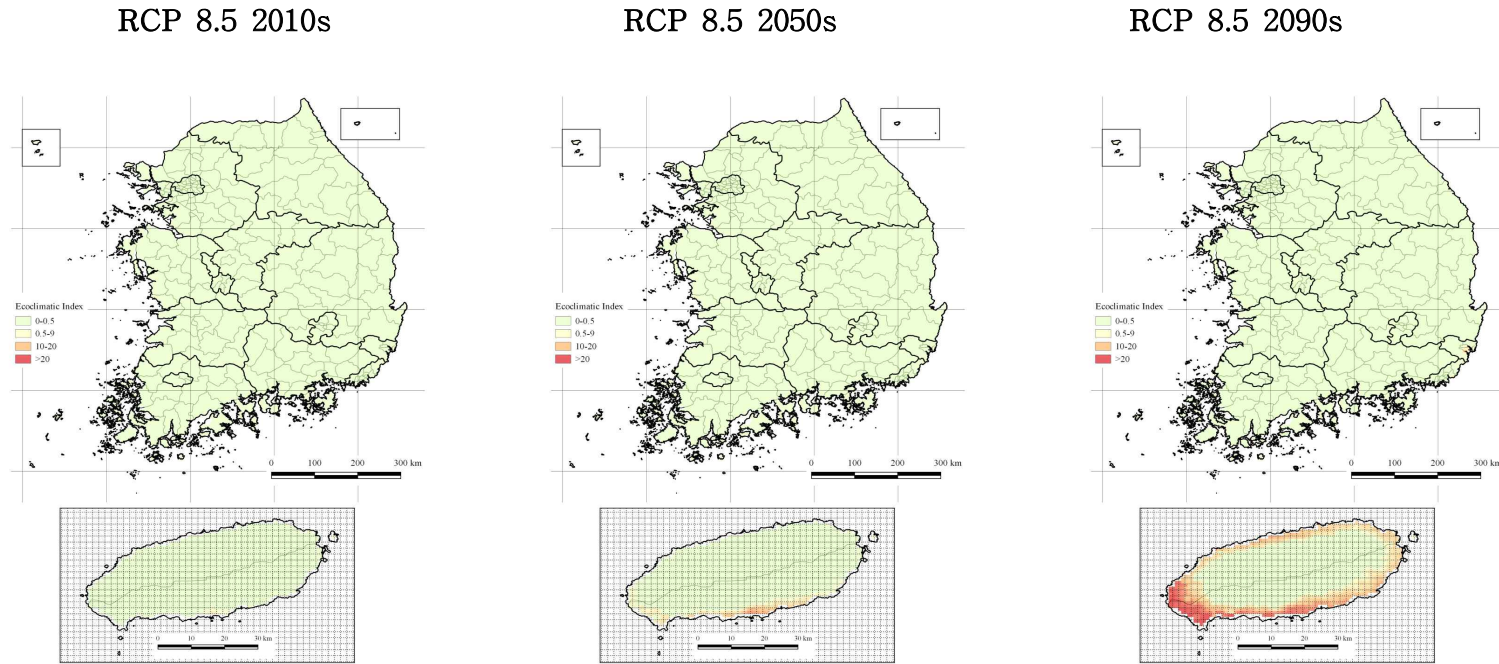


그림 10. 시나리오 1의 매개변수에 기반하여 RCP8.5 기후 시나리오를 따르는 국내 미래 기후에서의 기후 적합성 투영 결과. 시나리오 1에서 CS 관련 매개변수인 DHCS는 2009년 중국 우한에서의 CS 값이 21이 되도록 조정되었다 (DHCS = -0.0035/주). 적합성은 Sutherst et al. (2004) 가 제시한 범주에 따라 분류하였다: (부적절) EI = 0 - 0.49, (경계) EI = 0.50 - 9.99, (적절) EI = 10 - 19.99, (최적) EI > 20, (완벽) EI = 100.

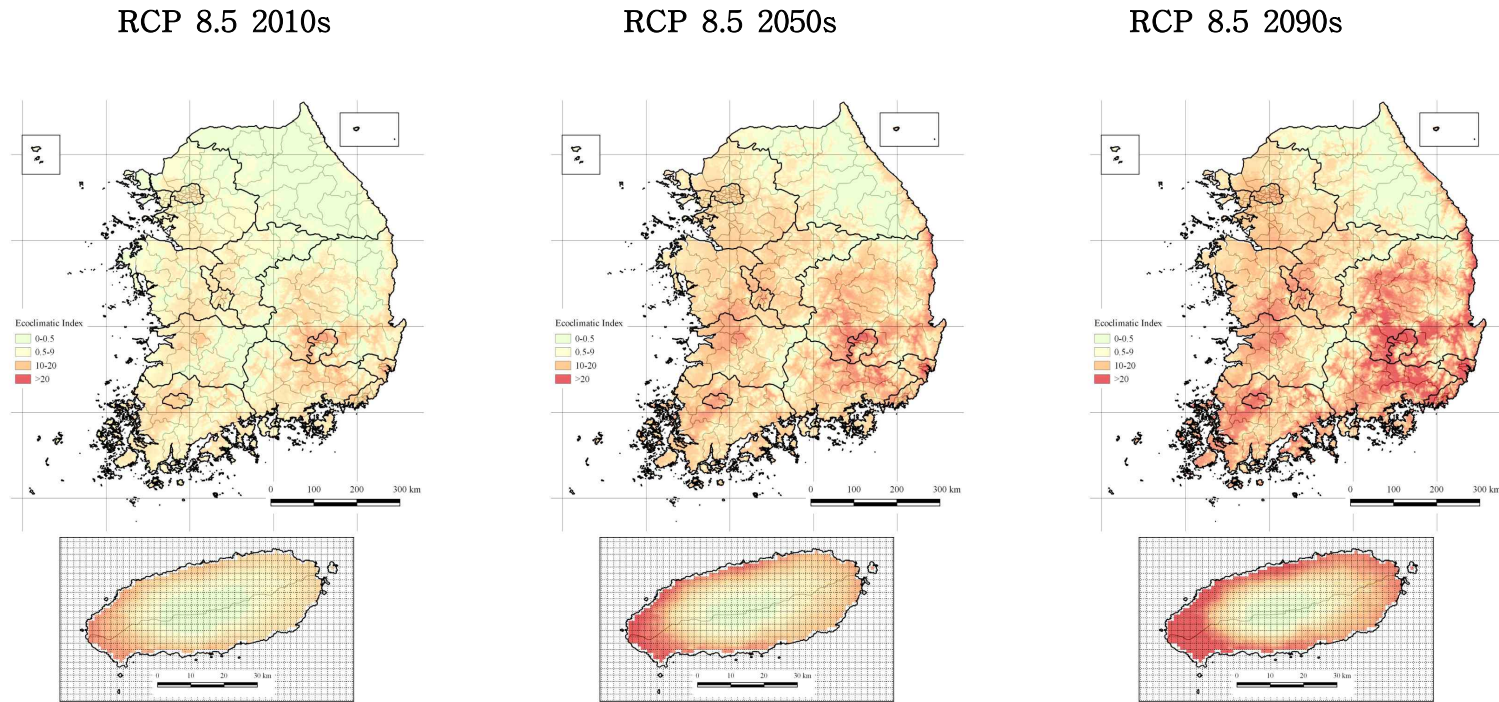
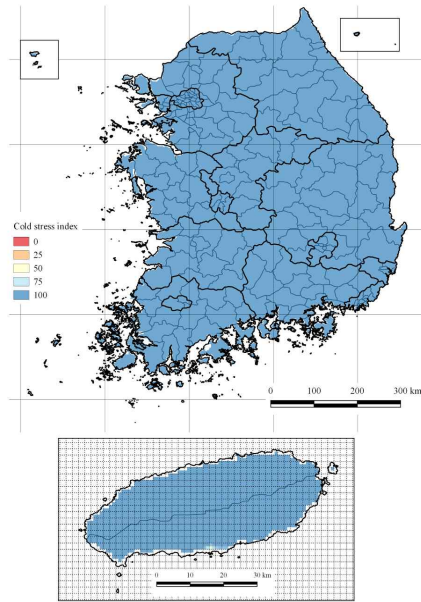
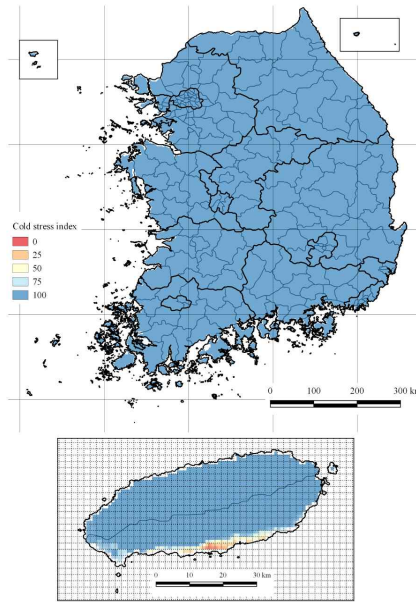


그림 11. 시나리오 2의 매개변수에 기반하여 RCP8.5 기후 시나리오를 따르는 국내 미래 기후에서의 기후 적합성 투영 결과. 시나리오 2에서 CS 관련 매개변수인 DHCS는 2006년 중국 우시에서의 CS 값이 21이 되도록 조정되었다 (DHCS = -0.0035/주). 적합성은 Sutherst et al. (2004) 가 제시한 범주에 따라 분류하였다: (부적절) EI = 0 - 0.49, (경계) EI = 0.50 - 9.99, (적절) EI = 10 - 19.99, (최적) EI > 20, (완벽) EI = 100.

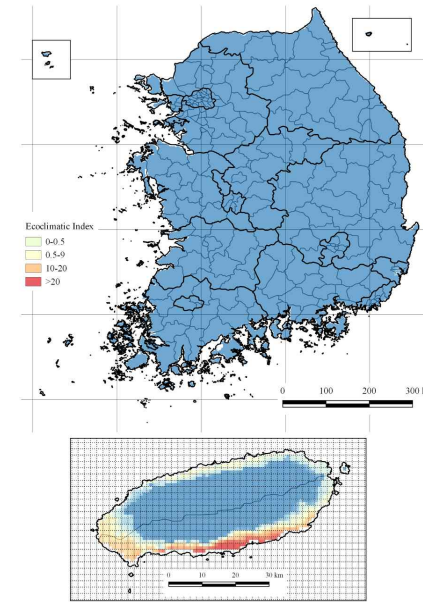
RCP 8.5 2010s



RCP 8.5 2050s



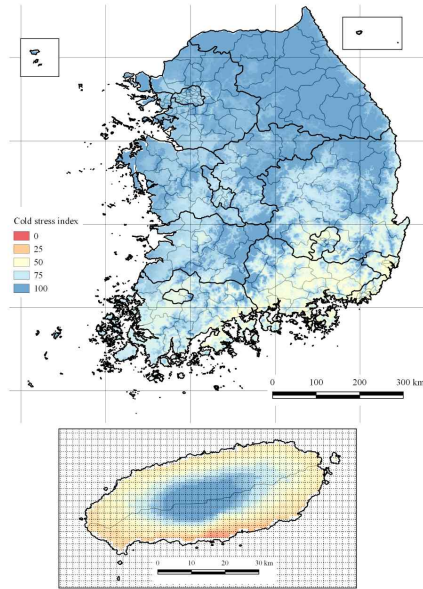
RCP 8.5 2090s



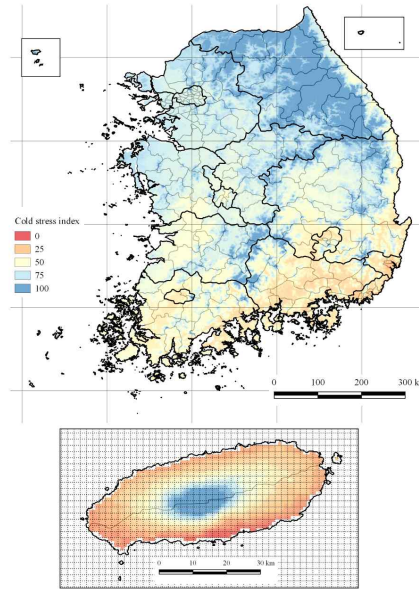
SD 그림 5. 시나리오 1의 매개변수에 기반하여 RCP8.5 기후 시나리오를 따르는 국내 미래 기후에서의 저온 스트레스 투영 결과. 시나리오 1에서 CS 관련 매개변수인 DHCS는 2009년 중국 우한에서의 CS 값이 21이 되도록 조정되었다 (DHCS = -0.0035/주). 적합성은 Sutherst et al. (2004) 가 제시한 범주에 따라 분류하였다: (부적절) EI = 0 - 0.49, (경계) EI = 0.50 - 9.99, (적절) EI = 10 - 19.99, (최적) EI > 20, (완벽) EI = 100.



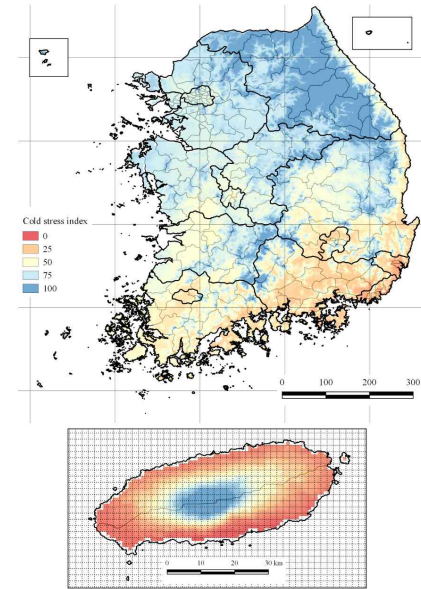
RCP 8.5 2010s



RCP 8.5 2050s



RCP 8.5 2090s



SD 그림 6. 시나리오 2의 매개변수에 기반하여 RCP8.5 기후 시나리오를 따르는 국내 미래 기후에서의 저온 스트레스 투영 결과. 시나리오 2에서 CS 관련 매개변수인 DHCS는 2006년 중국 우시에서의 CS 값이 21이 되도록 조정되었다 (DHCS = -0.0035/주). 적합성은 Sutherst et al. (2004) 가 제시한 범주에 따라 분류하였다: (부적절) EI = 0 - 0.49, (경계) EI = 0.50 - 9.99, (적절) EI = 10 - 19.99, (최적) EI > 20, (완벽) EI = 100.

## 고찰

### 매개변수 선택

#### 온도 지수 (TI) 관련 매개변수

오리엔탈과실파리의 고온 한계는 실내실험 결과 35도로 알려져 있다 (Wu et al., 2000; Rwomushana et al., 2008; Danjuma et al., 2014). 따라서 DV3 (고온 제한) = 35라는 값이 CLIMEX 모의에서 자주 사용되어왔다 (Rwomushana et al., 2008; Danjuma et al., 2014). 그러나 오리엔탈과실파리 개체군은 아프리카 수단, 와드 마다니와 싱가포르에서 그랬듯이 (De Villiers et al., 2016) 잠부에서 기온이 39.7도, 루디아나에서 40.3도, 페샤와르에서 41.1도에 이르는 뜨거운 계절에도 빠르게 증가한다 (Khattak et al., 1990; Mann, 1996; Rai et al., 2008). TI 값은 최고기온이 DV3를 넘을 때 0으로 설정된다. 따라서 DV3를 35로 하는 것은 현재 고온 지역에서의 오리엔탈과실파리의 분포를 설명할 수 없다.

곤충 종은 뜨거운 환경에서 그늘진 곳으로 이동하는 등의 체온 유지를 위한 온도조절기작 활동을 한다 (Fletcher, 1987). 따라서 이들 파리 성충들은 고온 한계를 넘는 기온에서도 성공적으로 생존할 수 있는 것으로 보인다. 실제로 오리엔탈과실파리 분포 지역으로 알려진 고온 열대 국가들은 DV3를 42로 하였을 때 적절 지역으로 모의된다 (De Villiers et al., 2016). 따라서 우리는 42°C를 DV3 매개변수로 하였다.

우리는 매개변수 DV0는 9.5, PDD는 717로 적용하였다. 이들 값은 오리엔탈과실파리 복합종의 온도 의존적 발육에 관한 데이터셋을 조합하여 얻은 것으로써 (비교하려면 SD 표2를 보라) 기존 연구들과는 크게 다른 값이다. 예를 들어, Kriticos et al. (2007) 에서 DV0는 13으로, Hou and Zhang (2005), Wang et al., (2010), Sridhar et al. (2014) 에서는 11 로 설정되어 있다. Syed et al. (1970) 에 의하면 12.78°C 이하에서는 오리엔탈과실파리의 번식이 불활성화되며 이번 보고서에서 계산된 온도의존적 총산란수 모형에서는 오리엔탈과실파리의 산란이 14도 이상에서 활성화된다. 이러한 관점에서 DV 를 9.5로 설정하는 것은 개체군이 10도라는 항온조건에서도 성장 가능함을 의미하기 때문에 부적절한 것일 수 있다. 그러나 이 조건은 우리나라와 같은 온대 지역에는 존재하지 않는다. 성충의 수명은 저온에서 100일까지 연장되며 어떨 때는 1년을 넘기도 하며 (Koidsumi and Shibata, 1964b) 이는 후에 적절한 환경에 조우하기에는 충분한 시간이다. 성충 뿐 아니라 미성숙 단계에서도 다양한 온도 조건에서도 발육할 수 있으며 저온 한계는 9도 이상인 것으로 보고되었다 (Koidsumi and Shibata, 1964b). 따라서 9.5°C를 DV0 로 적용하는 것은 이들 개체군이 9-10°C 의 온도범위 사이에서도 생존하고 발육 (GI > 0) 할 수 있음을 의미한다. PDD는 선택된 지역 내에서 종이 존속할 수 있는지를 결정하는 매개변수로써 연간 축적된 degree-days가 PDD 보다 작으면 EI 는 0이 된다. 매개변수에서 오리엔탈과실파리의 생물적 상세정보들을 포함시킴으로써, 산출된 연간 세대수는 실제 관찰값과 유의하게 다르지 않았다 (표9). 따라서 우리의 새로운 매개변수는 CLIMEX 모의와 타 지역의 개체군 모형에도 유용할 것이다.

### 습윤 지수 (MI) 관련 매개변수

습윤 지수는 그 값이 0일 때 개체군 생장도 0이 되므로 CLIMEX 모의에서 EI 값에 직접적으로 영향을 미치는 지수이다. MI 값은 토양수분(SM) 이 SM0 미만 또는 SM3 을 초과할 때 0이 된다. 표5에 제시되었듯이 다양한 SM2와 SM3 조합이 CLIMEX 모의에 적용되고 있다.

SM2 = 1.8, SM3 = 3 이라는 값은 8월동안 토양수분이 1.97에 달하는 지긴쇼르에서의  $GI_w$  값을 개선하기 위해서 설정된 것이다 (De Villiers et al., 2016). 또한 SM3 = 2 라는 값은 중국 (Hou and Zhang, 2005) 과 인도 (Sridhar et al., 2014) 에서 오리엔탈과실파리의 잠재적 분포를 예측하기 위해 사용되었다.

SM > 1 이상의 토양수분 값은 유수를 의미하며 토양용수량보다 수분이 많음을 뜻하여 (Kriticos et al., 2015) 홍수로 인해 용이 사망할 수 있다. 따라서 SM2 = 1, SM3 = 1.6 (EPPO, 2010) 이라는 값은 세네갈과 같은 곳에서 과실파리 성충이 잡히는 우기 동안 (De Villiers et al., 2016) 에  $GI_w$  값이 0으로 나타나기는 하나 생물학적으로는 좀 더 일리 있는 값으로 보인다.

많은 경험적인 관찰을 살펴보면 높은 토양수분 값은 오리엔탈과실파리 개체군의 감소 원인이 된다. 예를 들어 Vayssieres et al. (2014) 는 지긴쇼르에서 개체군 밀도가 6월에 최성기를 보이다가 토양수분이 1.7 이상으로 상승하는 7 ~ 8월 동안에 감소하는 것을 확인하였다. 중국 루이리에서도 같은 현상이 보고되었다 (Chen et al., 2006): 오리엔탈과실파리 개체군은 6월 개체군 밀도가 정점을 나타낸 후 SM값이 1.6 ~ 1.7이 되자마자 빠르게 감소한다. EPPO (2010) 은 부탄의 오리엔탈과실파리 분포지역에 대한 적합능력에 기초하여 SM3을 1.6으로 하였다. 따라서 우리는 EPPO (2010) 이 제시한대로 SM2 = 1, SM3 = 1.6으로 하였다.

## 모형 검토

### 주간 생장률 $GI_w$

SM3 = 2.0 (주로 De Villiers et al. (2016) 의 모형) 의 결과값에서,  $GI_w$  는 여름철 동안 토양 수분에 의해서는 크게 변하지 않는다 (그림 5, 6, 8). 반면에 SM3 = 1.5 (Kriticos et al., 2007) 및 1.6 (사나리오 1,2) 인 경우는 토양 수분에 의해  $GI_w$  가 역동적으로 변하며 이 변화는 몇몇 경우에는 실질적인 페놀로지 데이터와는 맞지 않는다 (그림 5, 6, 8). 그러나 우리는 이러한 불일치가 두 가지 요인에 의한 것이라 보았다. 하나는 CLIMEX 의 계산 과정에서 기인한 것이다. 이러한 차이가 발생하는 것은 우기 동안 MI 값이 과대평가되기 때문일 것이다. MI는 오리엔탈과실파리의 생활사 내에서 용의 생존에 영향을 미치며 이는 바로  $GI_w$  값에 반영된다. 페놀로지 데이터는 성충 개체군에 기반하고 있다. 때문에 그림5에서처럼 예측된  $GI_w$  값과 실제적인 페놀로지 데이터 간에 시간차가 발생할 수 있다. 또한 성충 개체군의 밀도는 성충의 긴 생존기간 때문에 용의 사망률에 크게 영향 받지 않을 수 있다 (Vargas et al., 2000; Ekesi et

al., 2006). 두 번째 요인은 외부(heterogenous) 용화 장소를 고려하지 않은 상태에서 용 사망률이 과대평가되었기 때문일 수 있다. 바꿔 말하면 오리엔탈과실파리 성숙 유충은 생존 기회를 늘리기 위해 자발적으로 용화 장소를 찾아다닌다 (Aloikhin et al., 2001). 따라서 모든 용들은 아마도 토양 수분이 흘러넘칠 정도가 되어도 죽지는 않을 것이다. 모형에서는 그러나 토양수분이 1.6을 넘으면 MI 가 0으로 계산되어  $GI_w$  값 또한 0이 된다. 즉 이 두 가지 이유가 조합되어 일부 국가에서 우기 동안  $GI_w$  값이 0이 되는데도 성충 과실파리들이 꾸준히 포획되는 (Drew et al., 2007; De Villierts et al., 2016) 이유가 되는 것으로 보인다. 그리고 이러한 높은 용 사망률은  $SM3 = 2.0$  으로 설정함으로써 계산적으로 보상된다. 그러나 앞서 설명한대로  $SM3 = 2.0$  이라는 값은 생물학적으로, 그리고 수문학적으로 맞지 않는 값이다. 따라서 우리는 논리적으로 맞는  $SM3 = 1.6$  이라는 값을 사용하였다. EI 계산에는 GI 값의 연간 평균이 이용되며, 국내에서는 비가 그렇게 길게 내리지 않아 이 값이 크게 영향을 미치지 않는다.

### 저온 스트레스 값

우리는 이번 연구에서 중국의 우한과 우시에서의 오리엔탈과실파리의 분포를 설명할 수 있는 DHCS 의 값으로써  $-0.0035$ 와  $0-0.0006/주$  라는 두 매개변수 값을 제시하였다. 우한 기반 모형 (시나리오1)에서는 오리엔탈과실파리의 북방한계 지역들의 알려진 분포를 잘 설명하는 타당한 CS 값들을 출력하였다 (표7). 우시 기반 모형 (시나리오2)에서는 그러나 CS값들은 오리엔탈과실파리가 존속 불가능한 지역 (또는 연도)에서도 100이하의 CS 값을 출력하였다.

우시 기반 모형은 알려진 사실들에 비해 오리엔탈과실파리 용의 생존능력을 과대평가하고 있기 때문에 받아들여지기 위해서는 경험적인 관찰들에 의해 증명되어야 한다. 앞서 설명한 바와 같이 Wang et al. (2014) 는 북방 한계 지역의 오리엔탈과실파리 경계 개체군은 추운 기온에 적응하여 새로운 생태형으로 진화하였을 수도 있다고 하여 이들 저온 내성에 대한 매우 중요한 결과를 제시하였다. 그들은 우시 개체군은 남부 광저우와 샤먼의 개체군에 비해 효소 활성이 낮았고 체수분 함량이 낮았으며 총 당 및 글리세롤 함량이 높았다고 하였으며 이들 특성들은 곤충의 저온 내성을 높이는 매개변수로 알려져 있는 것들이다. 특히 용 단계의 저온 견지성이 가장 높았으며 일부 개체들은  $-10$ 도에서 24시간 처리하여도 생존하였다. 따라서  $-0.0035$ 와  $-0.0006$ 이라는 두 매개변수 값은 국내에서 오리엔탈과실파리의 분포 적합성을 평가하는 데에 중요할 것이다.

### 국내 적용

CLIMEX의 모형 결과의 수행능력을 평가하기 위하여 true positive, false negative, false positive, ture negative 조합을 이용한 오차 행렬 검정기술이 적용되어왔다 (Stehman, 1977). 이번 연구에서는 우리는 CS 값을 이용하여 북방 한계를 포함하도록 모형 매개변수들을 조정하였고 모형 결과값의 전체적인 수행능력은 세대수와 주간 성장률 관점에서 평가되었다. 우리의 모형 매개변수 적합에 대한 전략은 오리엔탈과실파리의 북방한계를 포함시키는 것이므로

이를 국내 지역에 적용함으로써 제주와 같은 위험지역 내에서의 분포 적합성에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

우한기반 모형 (시나리오 1) 은 2010년대에는 경계적으로 적절한 제주의 일부 지역을 제외하고는 국내지역 대부분이 오리엔탈과실파리에 있어서 기후적으로 부적절한 것으로 나타났다. 그러나 우시 기반 모형에 따르면 대구도 개체군이 정착하기에 최적의 것으로 나타난다. 이 우시 기반 모형은 아직은 모험적인 모형이다. 우리는 이번 연구에서 최초로 상대적으로 따뜻한 우시 지역을 포함시킬 수 있도록 하는 CLIMEX 매개변수들을 제공하였다. 이들 매개변수들에 대해 향후 기후적으로 유사한 다른 지역에서의 평가를 더 수행해야 한다. 그러나 현재 검역 정책상 침입 해충을 막기 위해서는 보수적인 접근이 요구된다. 높은 저온 내성을 지닌 오리엔탈과실파리가 실제로 실내 및 야외실험에서 확인되었으므로 (Qi et al., 2008; Han et al., 2011; Wang et al., 2014) 이러한 접근은 현재에도 받아들여질 수 있다. 더욱이 우리가 우한 기반 모형을 수락한다 하더라도 실제 정착 능력은 용화 장소의 다양성(heterogeneity) 에 의해 더 높아질 수 있다 (Aloiykhin et al., 2001).

Wang et al. (2014) 는 온대 지역에서의 오리엔탈과실파리의 생활사를 제시하였다: 용 단계에서 월동에 들어가 이듬해 6월부터 성충이 우화하기 시작할 것이며 따라서 성충 개체군은 기나긴 월동 기간 동안에는 발견되지 않는다. 이 생활사 모형은 오리엔탈과실파리가 제주에 침입하여 정착하는 경우 적용될 수 있다. 그리고 계절적 발생과 개체군의 유지는 Tan and serit (1994) 와 Peng et al. (2011) 이 제시한 바와 같이 기주식물의 가용성에 의해 궁극적으로 결정될 것이다.

이번 연구에서 우리가 제시한 CLIMEX 모형은 국내의 위험 지역에 대한 오리엔탈과실파리의 예찰 노력을 집중, 배치하는 데에 유용하게 사용될 것이다. 오리엔탈과실파리의 침입 경로는 예로부터 유충이 들어있는 과실의 수입, 또는 화물이나 항공을 이용하는 승객들의 과실 밀반입을 통해서인 것으로 알려져 있다 (CABI, 2018). 최근에는 일본 오키나와 지역 내에서는 기존 분포 국가로부터 기류를 통해 오리엔탈과실파리가 장거리 이주했을 것으로 여겨지고 있다 (Otuka, 2016, Otuka et al., 2018). 기류를 통한 이러한 침입은 제주 지역에 있어서는 또다른 심각한 위협이 될 수 있다. 오리엔탈과실파리가 유입되면 그 정착은 겨울철의 저온, 즉 저온 스트레스 값에 좌우될 것이다. 따라서 혹시나 발생할 수 있을 유입 개체군을 빠르게 검출하기 위한 예찰 전략으로써 오리엔탈과실파리의 위험도를 해마다 지도화할 필요가 있다.

### 3. 제주지역에서 기주식물의 분포특성을 반영한 오리엔탈과실의 개체군 수립 가능성 평가

#### 서론

새로운 지역에서의 오리엔탈과실파리의 잠정적 분포는 GARP, MAXENT, CLIMEX 등의 기술을 이용한 기후 대치에 기반하여 평가되어왔다 (Kriticos et al., 2007; De Meyer et al., 2010; Sridhar et al., 2014). 그러나 침입 종의 정착은 기후 외에도 기주식물과 천적과 같은 다양한 외부적 요인의 영향을 받는다. 이들 중에서도 기주식물은 종의 생존을 위한 기본 자원을 제공하기 때문에 그 가용성이 정착에 있어서 중요 요인이 될 수 있다. 가용 기주식물의 시간적 분포는 영양생태적 측면에서 곤충 개체군 생존과 동태에 크게 영향을 미칠 수 있다 (Scriber and Slansky, 1981; Kim and Lee, 2010).

이 연구는 오리엔탈과실파리의 개체군 발달에 대한, 시간적으로 분포된 기주식물의 양을 평가하기 위하여 수행되었다. 이를 통해 우리는 특정 지역에 오리엔탈과실파리가 영구적으로 정착할 수 있는지를 예측하고 이들 잠재적 분포를 평가하기 위한 기반 지식을 더욱 개선할 수 있을 것이다. 우리는 제주의 특정 위치 내에서의 오리엔탈과실파리 기주 식물의 양을 조사하고 시간적 가용성 측면에서 매개변수화하였다. 또한 기존의 온도에 대한 생물학적 데이터들을 이용하여 오리엔탈과실파리의 기초적인 개체군 모형을 작성하고, 이들 개체군 성장에 미치는 기주식물의 영향을 검정하였다.

#### 개체군 모형 작성

##### 모형 개괄

오리엔탈과실파리 개체군 모형은 월동용, 알, 유충, 용, 성충으로 된 다섯 발육 단계로 구성된다 (그림 12). 주로 온대 기후인 중국 우한에서의 사례와, 겨울철에 생존 상태인 오리엔탈과실파리 용이 관찰된 것에 기반하여(Han et al., 2011), 모형은 생리적 연령이 동일한 단일 집단(cohort) 으로 이루어진 월동용 단계에서 시작하도록 되어 있다. 용의 발육율은 발육영점 (8.6°C) 을 넘는 양만큼 매일 축적된다. 다른 발육단계의 경우 Curry and Feldman (1987) 과 Kim and Lee (2010) 이 제안하였듯이 개체들은 해당 단계로 전이한 일자에 따라 구분하여 한 발육단계 내에서 각각의 연령 그룹으로 분리하여 취급한다.

어떤 주어진 시점에서, 각 일자별 집단들은 Shaffer and Gold (1985) 와 Kim and Lee (2010)의 방

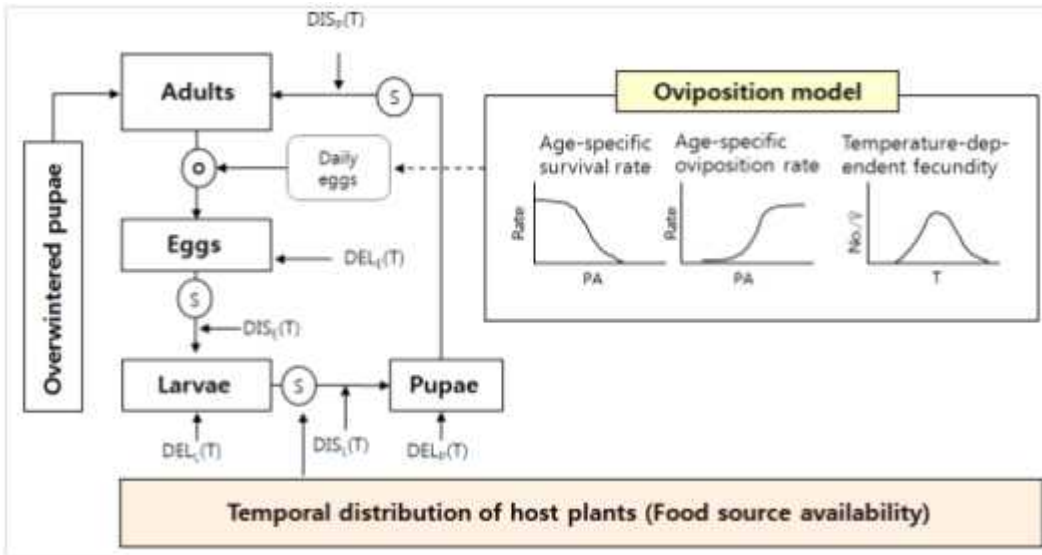


그림 12. 오리엔탈과실파리의 개체군 모형 구조

DEL: 발육모형 (development model), DIS: 발육기간 분포 모형 (distribution model of development time), T: 온도 (temperature), S: 생존율 (survival rate), O: 산란 모형 (oviposition model), PA: 생리적 연령 (physiological age), E: 알, L: 유충, P:蛹.

식에 따라 두 위상 변수들로 특성지을 수 있다. 하나는 단계  $i$  내에서 시간  $t$  일때 집단  $j$  의 생리적 연령인  $a_{ij}(t)$ , 또 하나는 시간  $t$  일 때 생리적연령  $a$ 인 집단의 개체수인  $N_{ij}(t, a)$  이다. 모형의 출력 값은 시간  $t$  일 때의 단계  $i$  의 총 개체수인  $N_i(t)$  로, 모든 집단의 개체수를 단순 합산하여 얻어진다. 따라서 모형은 일 단위의 타임스텝 (24h) 의 결과에 따라 갱신되는 구조로 되어 있다.

기상 요소로는 일별 평균기온과 5cm 깊이 토양온도만 이용하였다. 토양 수분과 상대습도와 같은 다른 기상 변수들도 토양 내에서의蛹의 생존에 영향을 미칠 수 있다. 그러나 제주에서는 극심한 건조는 일어나지 않으므로 이들 요소는 포함하지 않았다. 모형은 “사용자 정의형 수식 통합 계산의 최적화 시스템 (Patent IPC Registration No.: 1015784210000)”의 특허기술을 사용하여 곤충 개체군 동태를 그래프화할 수 있도록 제작된 비상용 모델 프로그램인 POPMODEL 1.5 (Choi and Kim, 2016) 를 이용하여 구동하였다.

### 선택된 지역 내에서의 기주식물의 시간적 분포 매개변수화 작업

오리엔탈과실파리의 기주으로써 총 471종의 식물들이 알려져 있다 (SD 표 3 참고). 이들 기주들은 오리엔탈과실파리의 가용성 측면에서 시간적으로 다양하게 분포한다. 오리엔탈과실파리는 주로 기주식물의 성숙과실 내에 알을 산란한다 (Steiner et al., 1957; Liquido et al., 1995). 따라서 기주식물의 과실 발육 페놀로지는 먹이자원의 가용 시기를 결정한다. 우리는 생물학적으로 해석이 가능한 네 개 매개변수를 지닌 대칭 이중 시그모이드 방정식 (symmetric double sigmoid, SDS) (Jandel Scientific, 2002)을 사용하여 기주 가용성 곡선을 모형화하였다.

$$K = \frac{a[1 + \exp(-c/2d)][1 + \exp(c/2d)]\exp(-((x-c)/d))}{\left[1 + \exp(-((x-b + \frac{c}{2})/d))\right] \left[1 + \exp(-((x-b - \frac{c}{2})/d))\right]} \quad \text{식 8}$$

K는 날짜  $x$  일때의 오리엔탈과실파리에 대한 환경 수용량 (carrying capacity) 이고,  $a$ 는 먹이의 양,  $b$ 는 과실이 익기 시작하는 날짜와 수확날짜 사이의 중간지점,  $c$ 는 과실 성숙한 상태의 기간,  $d$ 는 곡선의 경사를 나타낸다. 매개변수  $d$ 는 즉 최대 성숙에 도달하기까지 과실이 얼마나 빨리 익는지를 설명하는 값이다.

제주도내 1.6 x 1.6 km 의 선택된 지역 내에서 (중심지점 좌표 N 33°30'13.38", E 126°33'12.05") USDA (US Dept. of Agriculture) 의 기주식물 목록 (Liquido et al., 2015) 과의 대조를 통해 오리엔탈과실파리의 기주식물들을 조사하였다. 1.6 x 1.6 km 의 정방형 단위면적은 미국의 예찰 시스템 (Jeffrey, 1989) 을 참고한 국내 14.4 x 14.4 km 의 표준격자 시스템 내에서, 오리엔탈과실파리가 한 마리 이상 검출되었을 때 긴급 방제지역 반경 설정 및 예찰 트랩을 설치하는 단위지역에 해당한다.

과실 성숙 시작 시기, 수확시기 등 기주식물의 결실 시기는 다양한 기관에서 제공하는 개방형 웹 기반 데이터베이스로부터 얻었다. 매개변수  $b$ 는 각 기주식물의 “(수확종료시기 - 과실성숙 시작시기)/2” 로 과실 성숙기간의 중간지점을 계산하여 결정하였다. 과실 성숙기간 (매개변수  $c$ ) 은 “(수확종료시기 - 과실성숙 시작시기) \* 3/4” 로 대략적으로 구하였다. 오리엔탈과실파리는 과수에 매달려 있는 과실에 주로 산란하므로 (Liquido et al., 1995) 과성숙하여 낙과하는 과실들은 고려하지 않았다.

매개변수  $a$ 는 오리엔탈과실파리가 이용 가능한 과실 자원의 총량으로써, 유충 개체군에 대한 환경 수용량으로 바로 전환가능하다. 먼저, 우리는 Harris and Lee (1987), Verghese et al. (2002), Mwatawala et al. (2004), Ekesi et al. (2006), Rwomushana et al. (2008) 의 포장 관찰 데이터셋들을 이용하여 오리엔탈과실파리 유충 한 마리의 발육 완료에 소요되는 과실의 양 (g) 을 계산하였다. 1kg의 과실로부터 우화한 오리엔탈과실파리의 평균 개체수는 132.5마리로, 즉 과실파리 한 마리당 7.54g의 과실이 필요하다는 결론이 얻어진다 (SD 표 6 참고). 매개변수  $a$ 는 “(과수당 수량 x 과수 재식수 x 가중치)/7.54” 로 계산하였다.

마지막으로, 시간의 흐름에 따라 각 기주식물의 환경수용량의 총합을 나열하여 정의된 지역 내에서의 과실 가용성 분포 곡선을 제시하였다.

매개변수  $d$ 는 기주식물 종에 따라 다를 것이다. 그러나 이에 대한 데이터가 부족하여 우리는 미숙~성숙 기간을 15 ~ 30일로 하도록 모든 기주식물에서  $d$  값을 1.5로 일괄 적용하였다.

## 모듈 프로세스 계산 방식

### 각 발육단계의 단계 전이 모듈

이 모듈은 발육을 모형 (표 2) 과 발육기간 분포 모형 (표 3) 이라고 하는 두 주요 온도 의존적 모형들을 이용하여 어떤 한 단계에서 다음 단계로 전이하는 개체의 비율을 산출한다. 발육을 함



수는 주어진 온도 조건에서의 일간 평균 (혹은 중간값) 발육율을 결정하며, 분포 함수는 주어진 발육율 시점에서 개체군의 누적 전이율을 계산한다 (Wagner et al., 1985; Kim and Lee, 2010).

### 성충 산란 모듈

곤충 종의 산란모형은 온도 의존적 총산란수  $f(T)$ , 연령에 따른 누적 산란율  $p(px_i)$ . 연령에 따른 생존율  $s(px_i)$  이라는 3가지 온도의존적 모형으로 구성된다 (표 4) (Curry and Feldman, 1987; Kim and Lee, 2003). 성충의 생리적 연령  $px_i$  는 식 4를 이용하여 계산한 성충 노화율을 시간  $i$ 까지 누적하여 얻어진다. 마지막으로, 생리적 연령  $px_i$  와  $px_{i+1}$  기간 동안의 암컷 한 마리당 산란수는 다음 방정식으로 계산한다 (Kim and Lee, 2003).

$$A_{rp}(T;px) = f(T) \cdot [p(px_{i+1}) - p(px_i)] \cdot \frac{s(px_i) + s(px_{i+1})}{2} \quad \text{식 9}$$

### 기주식물 가용성 모듈

합쳐진 기주가용성 곡선은 주어진 시간동안 오리엔탈과실파리가 사용 가능한 먹이 자원의 총량을 생성하며 이는 환경 수용량  $K$ 로 표시한다.  $K$ 는 과실이 오리엔탈과실파리에 지속적으로 감염되면서 변화하고 이 감염 과실들은 이후에 우화하는 파리들이 이용할 수 없다.  $K$ 의 변화는 일별로 갱신되어 오리엔탈과실파리 개체군 밀도에 반영된다. 우리는  $K$ 는 오리엔탈과실파리의 산란에 밀도 의존적 방식으로 직접적으로 영향을 미친다고 가정하였다. 가중치인  $W_i$  는 다음과 같은 방식으로 계산되었다.

$$W_i = K_i / KN_i \quad \text{식 10}$$

$K_i$ 는 시간  $i$ 일 때의 사용가능한  $K$ 의 양이며,  $KN_i$  는 새로이 산란된 알이 유충이 되기 위해 필요한 먹이의 양을  $K$ 로 환산한 값이므로써,  $KN_i < K_i$  일 때  $W_i = 1$  이 된다. 따라서 생존한 알의 개수 (= 유충 마리수)는  $f(T) \cdot W_i$  로 계산된다.

### 기타 요소들 및 가정

토양수분과 토성은 과실파리과에 속하는 파리류 용의 생존에 영향을 미칠 수 있다 (Eskafi and Fernandez, 1990; Hennessey, 1994; Hou et al., 2006). 그러나 다양한 토양 조건에의 영향을 매개변수화할만한 데이터셋은 아직 없는 실정이다. 따라서 우리는 토양 내에서의 용 단계의 자연적인 사망률만을 적용하였다. 실내 실험에서 일반적인 토양 수분 조건에서의 용의 사망률은 96.2%로 보고되어 있다 (Hou et al., 2006). 또한 Serit and Tan (1990) 은 포장 조건에서의 오리엔탈과실파리의 전체 생활사 중의 치사율은 77.8%라고 하였다. Vargas et al. (2000) 은 준포장 조건에서 생

존율은 66%라고 하였다. 따라서 평균적으로 38.5%의 용 사망율 (61.5% 생존율) 을 모형에 적용하였다. 이 생존율 값은 실험실에서 모든 온도에서 얻어진 평균 73.5% 라는 값보다는 약간 낮다 (SD 표 2). 월동한 용의 치사율은 적용하지 않았으며 이 단계에서 상수는 오직 모형에 도입하는 초기 개체의 마리수 뿐이다. 알의 치사율은 포장 조건에서는 조사하기가 힘들다. 실내 조건에서의 오리엔탈과실파리 복합종의 알 부화율 데이터셋이 몇 가지 보고되어 왔다. 따라서 우리는 모든 온도에서의 평균 부화율 (생존율) 을 사용하였다 (87.4%, SD 표 2). 유충의 평균 사망률은 실내 조건에서 77.5%로 계산되었다 (SD 표 2). 그러나 앞서 설명했듯이 이미 밀도 의존적 사망률이 모형에 적용되어 있기 때문에 이 평균 사망률은 적용하지 않았다.

오리엔탈과실파리의 성비는 수컷 마리수에 대한 암컷 마리수의 비율로 표현되며 중국에서 17 ~ 33°C 사이의 환경에서 평균 0.99 였으며 (Luo et al., 2009) Côte d'Ivoire 에서는 1.38 ~ 1.78 이었다. 우리는 후자의 사례로부터 평균 1.58의 성비를 얻어 적용하였다.

우리는 선택된 지역으로부터 오리엔탈과실파리 성충의 이주 또는 이탈이 일어나지 않을 것으로 가정하였다. 또한, 오리엔탈과실파리 성충은 시간 격차 없이 바로 먹이 과실을 찾을 수 있는 것으로 하였다. 새로 정착한 지역에서의 천적의 영향은 확인되지 않았으므로 이에 의한 감소는 없는 것으로 전제하였다. 모형은 임의로 정해진 개체수대로 월동한 용 단계부터 시작하도록 되어 있다. 그 뒤 일별 타임스텝에 의해 계산되며 모든 치사현상은 다음 단계로 전이할 때에 발생하는 것으로 가정하였다.

## 모형 모의

일평균기온과 토양온도를 제주 기상관측소로부터 얻었다. 토양온도는 5cm 깊이의 토양에서 잦 것으로 2015년의 자료만 사용가능하였다. 따라서 100마리의 초기 용 개체군으로, 2015년의 제주의 기상 데이터를 모형 모의에 이용하였다.

우리는 기주식물의 시간적 분포의 영향을 평가하기 위해서 기주식물들 분류군 (과 (Family) 단위) 을 하나씩 제거해가면서 모형을 구동하였다.

## 결과

### 기주식물의 시간적 분포와 매개변수화

조사 지역에서 발견된 기주식물 목록을 그루수로 표시되는 개체 풍요도와, 이를 통해 구한 기주 가용성모형의 매개변수값과 함께 표 9에 정리하였다. 각 기주식물 분류군 (과 단위) 마다 먹이 자원의 시간적 분포는 그림 13에 나타내었다. 환경수용량 ( $y$ 축) 은 과실 무게를 그에 상응하는 오리엔탈과실파리 유충 마리수로 환산한 것이다. 대부분의 먹이 자원은 운향과 식물들 (주로 *Citrus* sp.) 에 의해 JD 300일 이후의 늦은 계절에 형성되었다. JD 220 ~ 300 사이의 기간 동안에는 운향과, 뽕나무과 (*Ficus* spp., 무화과류), 감나무과 (주로 감) 이 주요 먹이자원이었다. 가용 기주가 상대적으로 적었던 JD 160 ~ 220 사이의 기간에는 장미과 (*Prunus* spp.) 식물들이 일부 뽕

나무과 식물들과 함께 오리엔탈과실파리의 주요 먹이자원이 되었다. JD 125 ~ 145 기간 동안에는 먹이가 극히 적어 선인장과 (보검선인장(=백년초) *Opuntia ficus-indica*) 식물의 과실이 중요한 먹이가 되었다. 소수 기주들은 다음과 같이 분포하였다: 260 ~ 320 동안 수선화과 (문주란 *Crinum asiaticum*), 190 ~ 240 동안 녹나무과 (후박나무 *Machilus thunbergii*), 250 ~ 300 동안 석류과 (석류 *Punica granatum*), 250 ~ 295 동안 갈매나무과 (대추나무 *Ziziphus jujube*), 190~290 동안 가지과 (가지 *Solanum menlongena*), 220 ~ 270 동안 포도과 (포도 *Vitis vinifera*).

표 9. 선택 지역에서 발견된 오리엔탈기주식물 목록과 기주 가용성 곡선 산출을 위해 계산된 매개변수들

과	학명	재식 유형	그루수	매개변수			
				a	b	c	d
Amaryllidaceae	<i>Crinum asiaticum</i> L.	정원수	33	9.7	289.0	67.5	1.5
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	정원수	225	149,204.2	289.0	22.5	1.5
Lauraceae	<i>Machilus thunbergii</i>	정원수, 가로수,	93	331.4	212.5	45.8	1.5
	Siebold & Zucc.	야생					
	<i>Neolitsea serica</i> (Blume)	정원수	1	4.0	289.0	22.5	1.5
	Koidz.						
Moraceae	<i>Ficus carica</i> L.	과원, 정원수,	280	422,497.2	258.5	68.3	1.5
		야생					
	<i>Morus alba</i> L.	과원, 정원수	303	16,291.5	182.0	45.0	1.5
Opuntiaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.)	정원수	10	702.6	105.5	68.3	1.5
	Mill.						
Punicaceae	<i>Punica granatum</i> L.	정원수	2	519.6	274.0	45.0	1.5
Rhamnaceae	<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.	야생	1	96.3	274.0	45.0	1.5
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	정원수, 야생	18	4,150.8	166.0	22.5	1.5
	(Thunb) Lindl.						
	<i>Fragaria ananassa</i>	정원수	40	85.5	197.0	22.5	1.5
	Duchesne ex Rozier						
	<i>Malus pumila</i> Mill.	정원수	1	88.4	243.0	45.0	1.5
	<i>Prunus mume</i> Siebold &	과원, 정원수	254	42,289.2	182.0	45.0	1.5
	Zucc.						
	<i>Prunus persica</i> (L.)	정원수	4	23,361.1	232.5	45.8	1.5
	Batsch.						
	<i>Pyrus communis</i> L.	정원수	1	8,620.7	243.0	91.5	1.5
	<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm. f.)	정원수	2	1,202.2	228.0	22.5	1.5
	Nakai						
Rutaceae	<i>Fortunella japonica</i>	정원수	3	1,524.4	304.0	45.0	1.5
	(Thunb.) Swingle						
	<i>Citrus unshiu</i> Marcov.	과원 (조생종)	30,718	155,208,918.9	319.5	21.8	1.5
		과원 (극조생종)	3,414	17,245,435.4	298.5	21.8	1.5
		정원수	96	485,046.8	350.0	90.0	1.5
		정원수 (월동)			45.0	120.0	1.5
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i> L.	과원	1,172	15,940.9	258.5	68.3	1.5
	<i>Lycopersicon esculentum</i>	정원수	1	236.0	212.5	45.8	1.5
	Mill.						
	<i>Solanum melongena</i> L.	과원	156	2,430.9	227.5	68.3	1.5
	<i>Solanum nigrum</i> L.	야생	47	0.6	258.5	21.8	1.5
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i> L.	정원수	1	147.8	243.0	45.0	1.5

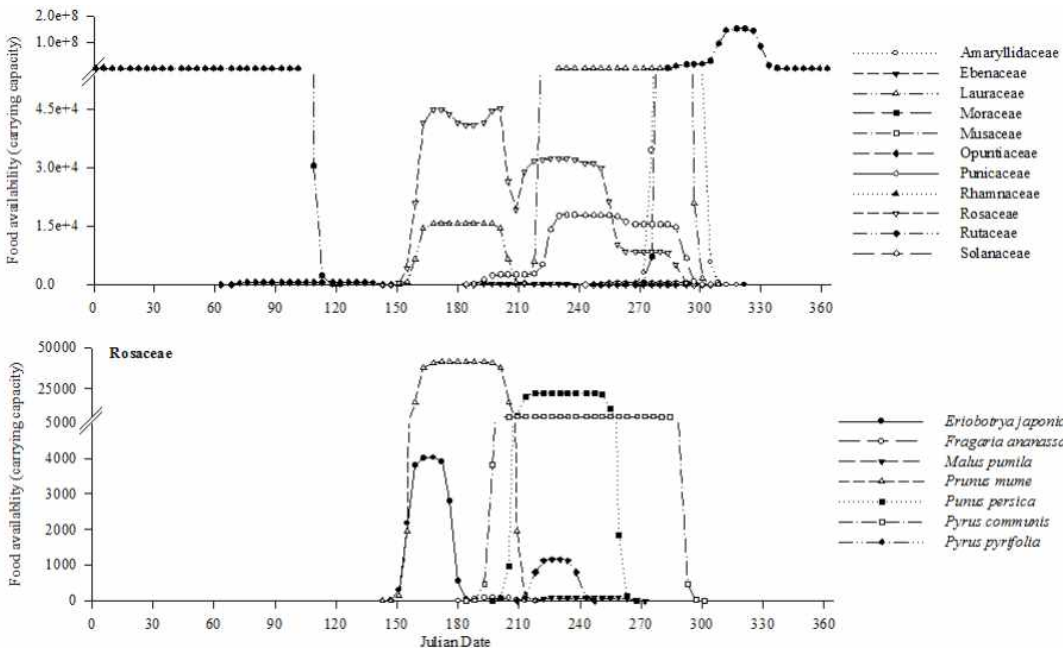


그림 13. 선택 지역 내에서의 오리엔탈과실파리 기주의 시간적 분포.  
 y축의 환경수용량 (carrying capacity) 는 과실 중량 (g)을 그에 상응하는 오리엔탈과실파리 유충의 마리수로 변환한 값이다. 위의 그래프는 모든 기주식물 군을 포함시킨 것이며, 아래 그래프는 장미과에 속하는 기주식물만 나타내었다.

그림 13의 아래 그림에 장미과에 속하는 기주식물들만 따로 표시해 놓았다. 이 분류군은 봄과 초여름에 오리엔탈과실파리의 먹이자원으로써 기능하며, 주로 145 ~ 180 동안에 비파나무 *Eriobotrya japonica*, 145 ~ 210 동안에 매화나무 *Prunus mume*, 200 ~ 260 동안에 복사나무 *Prunus persica*, 190 ~ 290 동안에 배나무 *Pyrus communis* 로 구성되어 있다.

### 일반적인 모형 결과값

모든 기주식물을 반영한 표준 구동 모형 결과값에서 선택된 지역 내에서 성충 세대수는 총 4회로 나타났다. 월동한 용으로부터 발생한 1세대 성충은 3월 말에 우화하기 시작하여 8월 중순까지 생존하였다. 2, 3, 4세대 성충들은 각기 6월 중순, 7월 말, 9월 말에 발생하기 시작하였다. 세대가 진행됨에 따라 성충 개체수는 크게 증가하였다. 3, 4세대 성충은 후기의 추운 기후조건으로 인하여 일부만 우화하였다. 3세대 성충은 뽕나무와 감나무의 가용기주와 겹쳐서 나타났다 (그림 13, 14a). 4세대 성충은 감귤 조생종의 성숙과실의 가용성과 함께 급격하게 증가하였다.

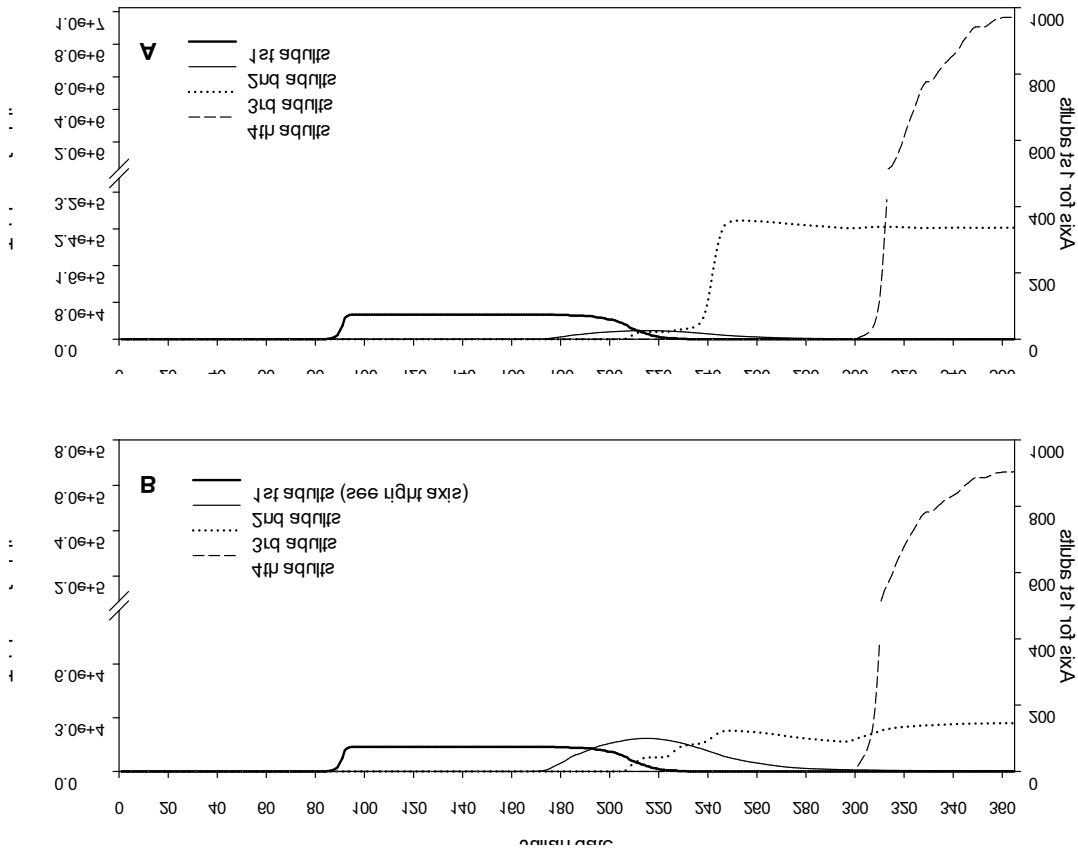


그림 14. 제주의 선택된 지역 내에서, 모든 기주식물들을 반영하여 (A), 그리고 뽕나무과 기주식물만 제거하여 (B) 모의한 오리엔탈과실파리 발생 양상. 모형은 기온과 토양온도, 그리고 초기개체군으로써 용 100마리를 입력하여 구동하였다. 변화 확인을 위하여 발생한 성충 총량을 참고.

선택 지역 내에서의 오리엔탈과실파리 개체군 성장에의 기주식물의 기여도는 기주식물 분류군에 따라 다르게 나타났다. 뽕나무과에 속하는 기주식물들이 모의에서 제거되었을 때, 오리엔탈과실파리 개체군은 93% 감소하였다 (그림 14B, 15). 이러한 현상은 JD 240 ~ 270 사이의 2세대 유충들이 이용할 수 있는 먹이의 부족으로 감소하기 때문에 나타나는 것이다. 그러나 선택 지역 내에서 다른 분류군이 오리엔탈과실파리의 개체군 성장에 미치는 영향은 사소한 것이었다.

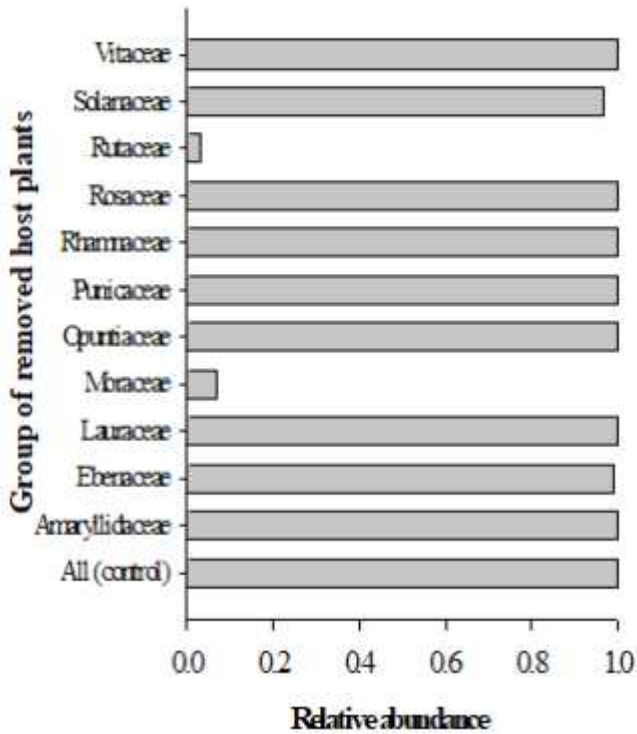


그림 15. 기주식물군 (Family) 을 제거하여 모의하였을 때의 오리엔탈과실파리 개체군 상대밀도의 변화. 모든 기주 (All (control)) 는 기주식물을 제거하지 않은 대조 결과값.

주요 기주식물인 *Citrus* spp. 가 제거되었을 때 일반 구동에 비해서 97%의 개체군이 감소하였다. 흥미롭게도 선택된 오리엔탈과실파리는 감귤류 없이도 선택된 지역 내에서 개체군 수가 크게 감소하지는 않지만 다른 먹이 자원들을 이용하면서 정착할 수 있었다.

#### 모형 결과값에 대한 개별 기주식물들의 영향

모형에 포함시킨 기주식물을 변화시켜가면서 모형 결과값들을 평가하였다. 이는 정해진 지역 내에서의 오리엔탈과실파리의 개체군 성장에 미치는 기주식물의 상대적 중요성을 평가하기 위한 것이었다. 모의를 위해서 선인장 (*O. ficus-indica*), 비파 (*E. japonica*), 매실 (*P. mume*), 복숭아 (*P. persica*), 무화과 (*Ficus carica*), 감 (*Diospyros kaki*) 을 각각 선택된 지역 내에서 시간적으로 분포하는 기주식물들 중 주된 역할을 하는 운향과 식물과 조합하였다. 비교를 위하여 각 모의에 조합된 기주식물들은 운향과의 양의 5%로 일괄조정하였다.

감은 선택된 지역 내에서 시간에 따른 가용성이 운향과 식물과 완전히 겹치기 때문에 (그림 13)

오리엔탈과실파리의 개체군에 아무런 영향도 미치지 못했다 (그림 16A). 또한, 선인장은 이 시스템 내에서 너무 빠르게 사라지기 때문에 (JD 65 ~145 사이) 오리엔탈과실파리 개체군을 감골류가 있는 계절 후기까지 연결시켜주지 못하였다. 그러나 선인장은 비파, 매실, 복숭아, 무화과와 조합될 경우 오리엔탈과실파리 개체군을 정착시킬 수 있을 것이다.

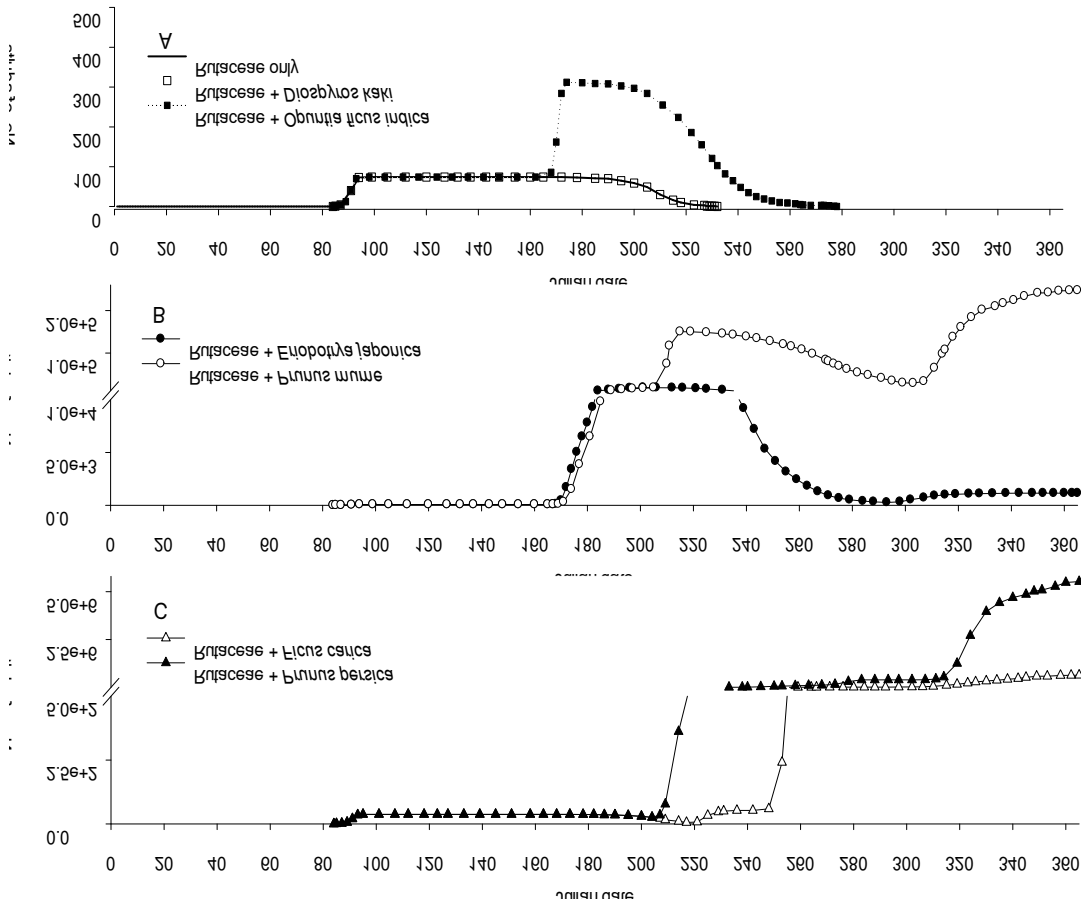


그림 16. 개체군모형 모의시 감골속 식물들 (운향과) 과 함께 각 기주식물을 조합하였을 때 오리엔탈과실파리 밀도 변화. 비교를 위하여 각 조합 기주식물들은 운향속 식물의 5% 양으로 고정하였다. 조합한 기주식물별로 모형 결과값을 평가하였으며, 비교를 정확히 하기 위해 각 그래프마다 Y 축을 달리하였다.

비파는 감골류와의 조합하였을 때 오리엔탈과실파리 개체군을 성공적으로 정착시켰다 (그림 13B의 Y축 참고). 해당 지역 내에서 오리엔탈과실파리 개체군 풍요도에 공헌하는 기주식물들은 복숭아, 무화과, 매실 순으로 나타났다 (그림 16B, C).

### 매개변수 변경 민감도

우리는 개체군 모형의 민감도를 검정하였다. 각 매개변수들은 10%씩 증감되었다. 민감도 분석시에는 Shaffer and Gold (1985) 가 제시한 대로 average effect와 non-linearity index를 사용하였다.

$$\text{Average effect} = 0.5[F(1.1p_0) - F(0.9p_0)] \quad \text{식 11}$$

$$\text{Non - linearity} = 0.5[F(1.1p_0) + F(0.9p_0)] - F(p_0) \quad \text{식 12}$$

$F(p)$ 는 주어진 값  $p$ 가 매개변수에 적용되었을 때의 모형 결과값이며  $p_0$ 는 원래 매개변수 값이다. average (linearity) 또는 non-linearity effect는 Shaffer and Gold (1985) 에 의해 정의된 것이다: 평균들은 각각 매개변수를 반영한 부분 1차 도함수의 결과값과 부분 2차 도함수의 수치적 근사값에 비례한다.

매개변수 변경에 따라 각 세대들의 최성기 날짜는 크게 변하지 않았다 (표 10). 성충 풍요도에 있어서 대부분의 경우 non-linearity는 average effect 보다 절대값이 작았으며 이는 매개변수 변경과 모형 결과값 사이에 강한 선형관계가 있음을 뜻한다. average effect에서 음수가 나오는 경우 매개변수 값 증가시 모형 결과값은 감소함을 뜻하며, non-linearity 의 경우는 매개변수 값과 모형 결과값 간의 관계가 곡선이 됨을 뜻한다 (Shaffer and Gold, 1985). 두 값이 모두 음수인 경우 매개변수 값 증가에 따라 결과값은 불룩한 곡선으로 감소하게 된다 (Shaffer and Gold, 1985). 표 10의 민감도 분석 결과에서 모형 매개변수들의 변화에 의해 average effect와 non-linearity effect가 관찰되어 복잡한 방식으로 모형 결과값에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

발육기간 분포 모형에서 매개변수들의 역할은 한 단계에서 다음 단계로 전이하는 시기를 조절하는 것이다. 이 매개변수의 변경으로 인한 average effect 와 non-linearity effect는 최성기에는 나타나지 않았으나 성충 밀도에는 약간의 또는 중간 정도의 영향을 끼쳤다. 유충과 용 단계에서의 매개변수 변경은 4세대 성충 발생에 강한 부정적 영향을 미쳤다. 전이 중심점을 늦추고 (즉 매개변수  $\alpha$ 의 증가) 전이수를 감소시키면 (매개변수  $\beta$ 의 감소) 서늘한 가을철에 개체군이 감소하게 된다.



표 10. 오리엔탈과실파리 개체군 모형 구성요소들의 각 민감도 분석 결과

모형	발육단계 혹은 모형유형	매개 변수	1세대		2세대				3세대				4th generation								
			초발일		최성기		성충밀도		최성기		성충밀도		최성기		성충밀도						
			A <sup>1</sup>	N <sup>2</sup>	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N					
발육기간 분포 모형	알	$\alpha$	0	0	0	0	0	0	0	0	363.5	-176.5	0	0	-147	1963	0	0	36473	-57407	
		$\beta$	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1	0	0	31	254	-0.25	0.25	9672	-914	
	유충	$\alpha$	0	0	0	0	0	0	1	0	-37	-9	0	0	8020	-235	0	0	-448751	117001	
		$\beta$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-11	0	0	594.5	-55.5	0	0	-20891	1584	
	산란 모형	용	$\alpha$	2.5	-0.5	1.75	-0.25	1	0	0	0	888.5	15.5	0	0	7330.5	980.5	0	0	-581264	116107
			$\beta$	1	0	-0.75	-0.25	0	-1	0	0	32	-368	0	0	769.5	2042.5	0	0	-28918.5	-614.5
암컷 노화율		$\varphi$	0	0	-2.75	-0.25	0	0	-1.5	-0.5	-3036	76	-53	-53	-75416	33189	0	0	-84378.5	8614.5	
		$\delta$	0	0	7	-0.5	0	0	8.5	2.5	6059.5	-2431.5	53.5	-53.5	174928.5	129765.5	0	0	116212.5	-56861.5	
총산란수		$\omega$	0	0	0	0	0	0	0	0	2398.5	13.5	0	0	10981.5	1834.5	0	0	114130.5	49092.5	
		$\varepsilon$	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	-1640.5	-3418.5	0	0	-3967.5	-13593.5	0.25	0.25	-1562874	-575602	
	$\kappa$	0	0	0	0	0	0	0	0	163	-18	0	0	4159	981	-0.25	0.25	116004	54453		
산란율	$\gamma$	0	0	0	0	0	0	0	0	2517.5	154.5	0	0	10792.5	2330.5	-0.25	0.25	109528.5	54923.5		
	$\eta$	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5	-81.5	0	0	19548.5	-130.5	0	0	4738	-4536		
	$\beta$	0	0	0	0	0	0	0	0	1672	-81	0	0	-11196	-303	0.25	0.25	123700	59167		
생존율	$\alpha$	0	0	4.5	-1	0	0	1.5	-0.5	911.5	-274.5	53	-53	44214.5	-145.5	0.25	0.25	-10742	-8956		
	$\lambda$	0	0	-1.75	-0.25	0	0	0	0	-346	-20	0	0	-2355	952	-0.25	0.25	-11211.5	-2543.5		

<sup>1</sup> Average effect

<sup>2</sup> Non-linearity

산란모형의 구성요소들의 매개변수 변경은 성충 풍요도에 선형적, 비선형적으로 큰 영향을 미쳐 그 영향이 뒷세대로 갈수록 크게 나타났다. 암컷 노화율 모형의 두 매개변수들은 개체군 모의 결과값에 대해 서로 상반된 효과를 지니고 있었다. 암컷 노화율의 경우  $\delta$ 가 감소, 그리고  $\phi$ 가 증가하면 암컷 생리적 연령이 가속화되기 때문에 수명이 짧아지는 결과를 초래한다. 이들 매개변수들은 성충 밀도에 대해 강한 non-linearity effect를 나타낸다. 또한 생존율 모형의 매개변수  $a$ 와 함께 최성기에 가장 큰 영향을 미친다.

산란율 모형의 매개변수  $\beta$ 의 변경은 세대에 따라 성충 밀도에 각기 다른 average effect를 보여준다.  $\beta$ 가 증가하면 성충 연령이 어릴 때와 노숙할 때의 산란수가 많아지며 중간 시기에는 적어진다. 성충이 어린 시기에는 개체수가 더 많으므로, 이 시기의 산란수가 증가하는 경우 개체군 풍요도도 증가한다. 그러나 표 10에서처럼 2 ~ 4세대에서 부의 average effect가 확인되는데, 이는 1, 3세대 성충들에서 봄, 가을철의 서늘한 기후로 인하여 산란이 감소하였기 때문일 것이다. 마찬가지로 생존율 모형에서 매개변수  $\lambda$ 의 증가는 성충 연령 초기 및 말기의 사망률을 높아지게 하여 성충 풍요도에 부의 average effect를 초래하였다.

반면에 생존율 모형의 매개변수  $a$ 는 증가시키면 현존 개체군의 풍요도를 증가시키는 종류의 매개변수임에도 불구하고 예상과는 달리 4세대 성충에 부의 average effect를 미쳤다. 이러한 현상은 이전 세대 성충의 잔존수가 증가하면서 산란 및 유충 생존을 위한 환경 수용량이 빠르게 감소되어 3세대 유충, 그리고 뒤이은 용 개체수의 감소를 초래하였기 때문이다. 그리고 실제 포장 환경에서는, 이러한 일은 각 세대별 성충이 겹쳐 존재하며 이 중 앞 세대의 성충이 환경 수용량을 선점하거나 하지는 않기 때문에 관찰되지 않을 것이다. 모든 세대를 총괄한 실제 개체군 밀도 즉 총 성충수는 생존 모형의 매개변수  $a$ 와 함께 증가하였다.

## 고찰

곤충 발육기간의 분포는 좌우대칭하지 않으며 일반적으로는 오른쪽으로 치우쳐 있지만 (Wagner et al., 1984) 우리는 알, 유충, 용에 대한 분포 모형의 매개변수들을 좌우대칭, 즉 정규분포로 가정하여 계산하였다. 따라서 전이 중심은 실제 곡선에서 구해지는 것보다 좀 더 전진하였을 수 있다. 그러나 일반적으로는 발육 기간의 분포 모형의 매개변수  $r$ 의 변화는 곤충 개체군 모형 상에서의 영향이 미비하다 (Shaffer and Gold, 1985; Kim and Lee, 2010). 따라서 이번 연구에서처럼 간단한 방법에 의해 계산된 분포 모형의 매개변수들은 오리엔탈과실파리 개체군 모형의 결과값에 큰 영향은 미치지 않는다. 대신, 평균과 표준편차를 이용한 계산방법은 분포 모형의 매개변수들을 빠르게 찾아내는 대체적인 방법으로써 추천할 만하다.

모든 모형들은 그가 대표하고자 하는 전체 시스템에 대한 설명을 간소화하며, 이들은 반드시 Jeffers (1982) 가 제시한 모형 개념에 따라, 모형 가설이 무너지지 않고 시스템의 핵심을 잡을 수 있도록 설계되어 있어야 한다.

이번 연구에서는 지역 내에서의 오리엔탈과실파리의 모든 기주식물들을 조합하여 먹이 자원의

환경 수용량을 구하였다. 그리고 한 마리의 유충이 소비하는 단위 먹이량에 따라 먹이 자원이 제거되도록 하였다 (유충 한 마리 당 7.54g). 이와 같이 모형 내에서 오리엔탈과실파리가 이용한 모든 먹이자원들은 소모된다. 그러나 오리엔탈과실파리가 이용하지 않은 일부 먹이자원도 포장 환경에 따라 제거될 수 있다. 유충이 포화상태로 감염되지 않았더라도 감염 과실이 낙과하면 더 이상 성충이 이용하지 않게 되기 때문이다. 따라서 우리 모형은 오리엔탈과실파리의 밀도 의존적 치사를 과소평가함으로써 약간 보수적인 결과를 도출하였을 수 있다. 그러나 검역 해충에 대한 위해성 평가에 있어서 보수적 판단은 해충의 침입을 막는 데에 도움이 될 수 있다. 기주식물 가용성을 정확하게 매개변수화하기 위하여, 다양한 과실 크기에 대한 알의 분포 특성에 대해서도 오리엔탈과실파리의 행동학적 연구에 기반하여 검정할 필요가 있다. 불행히도, 현재는 이용할 수 있는 데이터셋이 거의 없어서 이에 관한 연구가 더 필요하다.

우리의 오리엔탈과실파리 개체군 모형은 많은 가정을 통해 간소화된 것이지만 근본적인 모듈들은 실내 또는 야외에서 얻은 실질적인 실험 데이터로부터 얻은 것이다. 특히 기주식물의 실제 시간적 분포가 모형 내에 적용되었다. 따라서 우리 모형의 모의 결과는 오리엔탈과실파리의 생물학적 측면 및 현실성을 반영하였을 뿐만 아니라 새로운 지역에서의 오리엔탈과실파리의 행동 체계를 이해할 수 있도록 해줄 것이다.

오리엔탈과실파리는 열대, 아열대종으로써 이용할 수 있는 기주식물들은 원산 지역에 항상 분포하고 있다. 이 종이 온대 또는 부분적 아열대인 새로운 지역으로 침입하였을 때 일정기간 기주식물을 이용할 수 없는 시기가 있다. 이번 연구에서는 예상대로 오리엔탈과실파리 개체군은 선택된 지역 내에서 기주식물의 시간적 분포에 의해 크게 영향을 받았다. 개체군 밀도는 봄철 기주식물이 부족한 계절 후기에 크게 감소하였다. 오리엔탈과실파리는 감귤만 존재하는 경우 완전히 사라졌다 (그림 16A, 운향과만 적용하였을 때). 이는 월동용으로부터 우화한 오리엔탈과실파리 암컷의 수명은 해당 지역에서 감귤 과실을 이용할 수 있게 되기 전인 8월 중순에 끝이 나기 때문이다. 따라서 오리엔탈과실파리의 영구적 정착을 위해서는 계절 후기에 존재하는 기주식물들의 징검다리 역할을 하는 또다른 기주식물들이 필요하다. 제주도내의 실제 환경에는 징검다리 역할을 할만한 다양한 기주식물들이 야생 및 개인 가정에 다양하게 분포한다 (표 9, 그림 13). 그림 13의 결과와 같이, 중간 계절 동안 존재하는 기주식물은 오리엔탈과실파리의 정착의 주요 요인이 된다. Han et al. (2011) 은 중국에서 오리엔탈과실파리의 개체군 변동에 영향을 미치는 기주식물 전환 양상 (배 (*Pyrus communis* L.), 대추 (*Zizyphus jujuba* L.), 감 (*Diospyros kaki* L.), 감귤 (*Citrus unshiu* Marcov)) 을 확인하였다. 또한 Tan and Serit (1994) 는 열대지방에서도 오리엔탈과실파리 성충 개체군에 영향을 미치는 주요 환경 요소는 적절한 기주식물의 가용 여부라고 하였다. 결론적으로, 제한된 지역 내에서 오리엔탈과실파리의 침입이 확인된다면 이들 과실파리의 생물적 특성과 기주식물의 가용성을 고려하여 계절적인 관리 방안이 제시될 수 있을 것이다.

가장 중요한 것은 목표 지역에서의 야생 기주식물을 확인하는 일이다. 결실 폐놀로지에 따라 주요/비주요 기주식물들의 목록을 확보하고 평가하여야 한다. 그 후에 기주식물들 내에서 위해성의 우선도에 기반하여 다양한 방제 결정들이 마련될 수 있다. 즉, 시간적으로 분포되어 있는 기주식물들의 주변으로 순차적으로 단백질 먹이를 지점 처리하거나 ME (methyl eugenol) 를 이용한 수

컷 박멸 기술 (Vargas et al., 2009) 을 적용할 수 있다. *Bactrocera* 속 과실파리 암컷들은 산란할 기주식물을 찾지 못하는 경우 널리 확산하기 때문에 이러한 유인 살충 전략이 특정 지역 내에서 오리엔탈과실파리들을 막는 데에 유용할 수 있다 (Clarke et al., 2005).

우리는 오리엔탈과실파리 성충이 시간 격차 없이 즉시 기주식물을 찾아내는 것으로 가정하였다. 이번 모의는 1.6 x 1.6 km 라는 작은 지역에 국한되어 수행되었다. 오리엔탈과실파리는 비행성이 높고 이들은 성숙한 과실에 아주 잘 유인된다 (CABI, 2018). 따라서 우리 모형은 해당 지역 내에서의 실제적 시스템을 과대평가하지는 않았을 것이다. 기주 식물의 공간적 분포 패턴은 이번 연구에서는 반영되지 않았다. 그러나 오리엔탈과실파리 성충은 더 넓은 면적의 서식지에서는 먹이 자원이 고갈되면 기주식물을 찾아 공간적으로 이주해갈 것이다. 따라서 오리엔탈과실파리의 정착에는 기주식물의 공간적인 패턴도 중요 요인이 될 수 있다.

이번 연구는 기주식물의 실제적인 시간적 분포를 모형화하였고 침입 해충의 정착 가능성과 개체군 존속 여부를 평가한 것으로써 중요한 가치를 지닌다. 이러한 새로운 접근방식은 다른 해충들에 대한 연구에도 유용할 것이다. 게다가 실제적인 시스템 내에서 기주식물의 특성을 매개변수화한 데이터베이스를 생성하였으며, 이는 앞으로 침입 해충의 정착을 평가하기 위한 가상 생태계를 생성하는 데에 쓰일 수 있을 것이다.

Supplementary data

SD 표 1. 오리엔탈과실파리 분포지역

대륙	국가	종	인용문헌
Africa	Angola	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Benin	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010; Schutze et al., 2015b; Vayssieres et al., 2014
	Botswana	<i>B. invadens</i>	EPPO, 2014
	Brundi	<i>B. invadens</i>	Cassidy, 2010; Liu et al., 2011a; Drew and Romig, 2013
	Burkina Faso	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Vayssieres et al., 2014
	Cameroon	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; Abanda et al., 2008; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010
	Cape Verde	<i>B. invadens</i>	Ekesi and Mohamed, 2010
	Central African Republic	<i>B. invadens</i>	Goergen et al., 2011
	Chad	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008
	Comoros	<i>B. invadens</i>	De Meyer et al., 2010; Drew and Romig, 2013
	Congo	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Cote d'Ivoire	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010; Schutze et al., 2015b
	Democratic Republic of Congo	<i>B. invadens</i>	De Meyer et al., 2010; Goergen et al., 2011; Vayssieres et al., 2014
	Equatorial Guinea	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Ethiopia	<i>B. invadens</i>	De Meyer et al., 2010; Cassidy, 2010
	Gabon	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Gambia	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Ghana	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; Billah et al., 2006; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010; Vayssieres et al., 2014
	Guinea	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Vayssieres et al., 2014

대륙	국가	종	인용문헌
	Guinea Bissau	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Kenya	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; Ekesi et al., 2006; Rwomushana et al., 2008; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010
	Liberia	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008
	Madagascar	<i>B. invadens</i>	EPPO, 2014
	Malawi	<i>B. invadens</i>	De Meyer et al., 2007; Oliver and Thierry., 2016
	Mali	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011; Vayssieres et al., 2014
	Mauritania	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Mayotte	<i>B. invadens</i>	EPPO, 2014
	Mozambique	<i>B. invadens</i>	Correia et al., 2008; De Meyer et al., 2010; Cassidy, 2010; Drew and Romig, 2013; Schutze et al., 2015b
	Namibia	<i>B. invadens</i>	Cassidy, 2010
	Niger	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	Nigeria	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010; Ugwu and Ojo, 2015
	Rwanda	<i>B. invadens</i>	Cassidy, 2010
	Senegal	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010; Vayssieres et al., 2014
	Sierra Leone	<i>B. invadens</i>	Vayssieres et al., 2008; Goergen et al., 2011
	South Africa	<i>B. invadens</i>	Manrakhan et al., 2015
	Sudan	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; De Meyer et al., 2010; Schutze et al., 2015b
	Tanzania	<i>B. invadens</i>	Mwatawala et al., 2007; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010; Drew and Romig, 2013; Geurts et al., 2014
	Togo	<i>B. invadens</i>	Drewetal.,2005; Vayssieres et al., 2008; De Meyeretal., 2010; Vayssieres et al., 2014
	Uganda	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2005; Vayssieres et al., 2008; De Meyer et al., 2010

대륙	국가	종	인용문헌
America Asia	Zambia	<i>B. invadens</i>	De Meyer et al., 2010; Cassidy, 2010
	Zimbabwe	<i>B. invadens</i>	Cassidy, 2010
	USA (Hawaii)	<i>B. dorsalis</i>	Wan et al., 2012; Barr et al., 2014
	Bangladesh	<i>B. dorsalis</i>	Leblanc et al., 2013
	Bhutan	<i>B. invadens</i>	Drew et al., 2007; De Meyer et al., 2010
	Brunei	<i>B. papayae</i>	Drew and Romig, 2013
	Cambodia	<i>B. dorsalis</i>	Drew and Hancock, 1994; Wan et al., 2012
	China	<i>B. dorsalis</i>	Drew and Hancock, 1994; Zhang et al., 1995; Jiang et al., 2001; Ye, 2001; He et al., 2002; Shi et al., 2005; Ye and Liu, 2005; Zubing et al., 2005; Chen et al., 2006; Chen and Ye, 2007; Liu et al., 2007; Wu et al., 2007; Chen and Ye, 2008; Meng et al., 2008; Qi et al., 2008; Zhao et al., 2008; Shi et al., 2010; Han et al., 2011; Li et al., 2012; Wan et al., 2012; Drew and Romig, 2013; Aketarawong et al., 2014, Wang et al., 2014; Wu et al., 2014
	Christmas Island	<i>B. papayae</i>	Drew et al., 2008; Drew and Romig, 2013
	India	<i>B. dorsalis</i> , <i>B. invadens</i>	Shukla and Prasad, 1985; Ram and Pathak, 1987; Drew and Hancock, 1994; Mann, 1996; Kumar and Agarwal, 1998; Verghese et al., 2004; Ravikumar and Viraktamath, 2006; Sithanatham et al., 2006; Rai et al., 2008; Satarkar et al., 2009; De Meyer et al., 2010; Prabhakar et al., 2012; Bhattacharya et al., 2013; Ganie et al., 2013a; Nandre and Shukla, 2014; Sathish et al., 2014; Schutze et al., 2015b; Choudhary et al., 2016; Tara and Gupta, 2016; Das et al., 2017; Gurung et al., 2017
Indonesia	<i>B. papayae</i>	Drew and Hancock, 1994; Iwahashi, 2000; Drew et al., 2008; Schutze et al., 2012; Drew and Romig, 2013	

대륙	국가	종	인용문헌
	Laos	<i>B. dorsalis</i>	Drew and Hancock, 1994; Shi et al., 2010; Li et al., 2012; Wan et al., 2012; Aketarawong et al., 2014; Wu et al., 2014
	Malaysia	<i>B. papayae</i>	Tan and Lee, 1982; Rohani, 1987; Drew and Hancock, 1994; Drew et al., 2008; Schutze et al., 2012; Drew and Romig, 2013; Krosch et al., 2013
	Myanmar	<i>B. dorsalis</i>	Drew and Hancock, 1994; Shi et al., 2010; Li et al., 2012; Wan et al., 2012; Aketarawong et al., 2014
	Nepal	<i>B. dorsalis</i>	Schutze et al., 2015b
	Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	Syed et al., 1970; Khattak et al., 1990; Chaudhry et al., 2000; Wan et al., 2012; Schutze et al., 2015b
	Philippines	<i>B. papayae</i> , <i>B. philippinensis</i>	Drew and Hancock, 1994; Iwahashi, 2000; Drew et al., 2008; Schutze et al., 2012; Drew and Romig, 2013; Wu et al., 2014
	Singapore	<i>B. papayae</i>	Drew and Hancock, 1994
	Sri Lanka	<i>B. invadens</i>	Drew and Hancock, 1994; De Meyer et al., 2010; Drew and Romig, 2013; Schutze et al., 2015b
	Taiwan	<i>B. dorsalis</i>	Drew and Hancock, 1994; Muraji et al., 2008; Schutze et al., 2012; Wan et al., 2012; Drew and Romig, 2013; Aketarawong et al., 2014
	Thailand	<i>B. papayae</i>	Drew and Hancock, 1994; Iwahashi, 2000; Krosch et al., 2013; Schutze et al., 2012; Aketarawong et al., 2014; Danjuma et al., 2014; Wu et al., 2014
	Vietnam	<i>B. dorsalis</i>	Drew and Hancock, 1994; Shi et al., 2010; Wan et al., 2012; Drew and Romig, 2013
Oceania	French Polynesia	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 2007; EPPO, 2014



대륙	국가	종	인용문헌
	Papua New Guinea	<i>B. papayae</i>	Sar et al., 2001; Drew et al., 2008
	Palau	<i>B. philippinensis</i>	Drew et al., 2008; EPPO, 2014

SD 표 2. 오리엔탈과실파리에서 기존에 발표된 온도에 대한 발육, 수명, 산란에 관한 데이터들

온도(°C)	미성숙 기간 (days)			미성숙 시기의 생존율 (%)			성충 수명 및 산란			연구 국가	먹이	종	인용문헌
	알	Larvae	Pupae	알	Larvae	Pupae	Pre-ovip. (days)	Longevity (days)	Fecundity				
15	5.71	35.95	34.08	90.67	83.54	72.16				Kenya	Carrot-based diet	<i>B. invadens</i>	Rwomushana et al., 2008
15	5.05	27.84	29.14	81.87	73.21	66.80				Thailand	Guava-based diet	<i>B. papayae</i>	Danjuma et al.,2014
16							31.8	133.5	175.4	Hawaii	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 1997
17	3.61	23.73	25.12	85.20	71.20	24.40				China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Luo et al., 2009
18							16.0	97.7	1479.0	Hawaii	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 1997
18.5	3.20	11.10	24.90	74.00	72.00	68.00	48.4	179.8	952.1	Hawaii	Papaya fruits	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 2000
18.96	2.96	11.19	19.83							China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Wu et al., 2000
20	2.88	14.99	13.59	94.80	90.29	92.91				Kenya	Carrot-based diet	<i>B. invadens</i>	Rwomushana et al., 2008
20	2.70	12.16	13.19	87.20	80.79	74.35				Thailand	Guava-based diet	<i>B. papayae</i>	Danjuma et al.,2014
21	2.52	15.02	16.95	89.00	74.00	81.40				China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Luo et al., 2009
23.18	1.96	9.49	12.90							China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Wu et al., 2000
23.5	2.00	7.30	12.20	83.00	78.00	59.00	18.2	83.6	1296.4	Hawaii	Papaya fruits	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 2000
23.92	1.16	12.02	7.03	96.03	27.48	65.41		28.19		Malaysia	Guava fruits	<i>B. papayae</i>	Mohd Noor et al., 2011
24							7.3	71.5	2682.7	Hawaii	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 1997
24	2.00	7.70	12.40	85.00	83.00	66.00	37.3	93.6	1243.9	Hawaii	Papaya fruits	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 2000
24.14	1.54	7.99	11.45							China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Wu et al., 2000
25	1.55	12.36	11.91	92.40	85.00	88.80				China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Luo et al., 2009
25	1.69	9.48	10.02	93.47	98.61	95.51				Kenya	Carrot-based diet	<i>B. invadens</i>	Rwomushana et al., 2008
25	1.53	7.13	9.73	85.60	85.08	80.22				Thailand	Guava-based diet	<i>B. papayae</i>	Danjuma et al.,2014
27	1.22	6.56	8.40	88.40	83.88	81.52				Thailand	Guava-based diet	<i>B. papayae</i>	Danjuma et al.,2014
28	1.20	11.10	12.40	90.00	75.60	80.90		75.1	1056.8	Kenya	Artificial diet	<i>B. invadens</i>	Ekesi et al., 2006
28.08	1.17	6.83	8.70							China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Wu et al., 2000
29	1.25	9.31	9.58	89.80	78.40	83.80				China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Luo et al., 2009
29							5.7	37.8	975.4	Hawaii	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 1997

29.5	2.00	7.80	10.50	75.00	65.00	44.00	21.2	49.0	396.7	Hawaii	Papaya fruits	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 2000
30	1.41	7.85	8.50	93.60	93.31	95.40				Kenya	Carrot-based diet	<i>B. invadens</i>	Rwomushana et al., 2008
30	1.11	6.51	7.16	90.93	80.09	80.01				Thailand	Guava-based diet	<i>B. papayae</i>	Danjuma et al.,2014
31.02	1.04	6.04	8.35							China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Wu et al., 2000
32							5.3	27.5	163.4	Hawaii	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Vargas et al., 1997
33	1.13	7.53	7.69	88.00	76.30	70.4				China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Luo et al., 2009
33.56	1.00	6.38	dead							China	Artificial diet	<i>B. dorsalis</i>	Wu et al., 2000
35	1.25	6.64	dead	87.47	84.52					Kenya	Carrot-based diet	<i>B. invadens</i>	Rwomushana et al., 2008
35	1.03	5.28	dead	81.80	66.27					Thailand	Guava-based diet	<i>B. papayae</i>	Danjuma et al.,2014
Average				87.4	77.5	73.5							

---

SD 표 3. 국내에 존재하는 오리엔탈과실파리 기주 목록

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
Adoxaceae	<i>Sambucus javanica</i> Reinw. ex Blume	E, F	
	<i>Viburnum japonicum</i> (Thunb.) Spreng.	E	자생종
Amaryllidaceae	<i>Crinum asiaticum</i> L.	E, F	자생종 ( <i>Crinum asiaticum</i> var. <i>declinatum</i> (Rottb.) C.B.Clarke, <i>Crinum asiaticum</i> var. <i>japonicum</i> Baker)
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	C, D, E, F	재배종
	<i>Bouea macrophylla</i> Griff.	E, F	
	<i>Bouea oppositifolia</i> (Roxb.) Meisn.	E, F	
	<i>Holigarna kurzii</i> King	E, F	
	<i>Mangifera caesia</i> Jack	E, F	
	<i>Mangifera caloneura</i> Kurz	E	
	<i>Mangifera foetida</i> Lour.	E, F	
	<i>Mangifera griffithii</i> Hook. f.	E, F	
	<i>Mangifera indica</i> L.	A, B, C, D, E, F	재배종
	<i>Mangifera laurina</i> Blume	E, F	
	<i>Mangifera longipetiolata</i> King	E	
	<i>Mangifera odorata</i> Griff.	E, F	
	<i>Mangifera pajang</i> Kosterm.	E	
	<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst.	C, D, E, F	
	<i>Sorindeia</i> sp.	D, E, F	
	<i>Sorindeia madagascariensis</i> DC.	C	
	<i>Spondias dulcis</i> Sol. ex Parkinson <sup>2</sup>	C, D, E, F	
	<i>Spondias mombin</i> L.	C, D, E, F	
	<i>Spondias pinnata</i> L.	E, F	
<i>Spondias purpurea</i> L.	E, F		
Annonaceae	<i>Annona ×atemoya</i> Mabb.	E	
	<i>Annona cherimola</i> Mill.	A, D, E, F	
	<i>Annona glabra</i> L.	E, F	재배종
	<i>Annona macrophyllata</i> Donn. Sm.	E, F	
	<i>Annona montana</i> Macfad.	E, F	
	<i>Annona muricata</i> L.	C, D, E, F	재배종
	<i>Annona reticulata</i> L.	E, F	
	<i>Annona senegalensis</i> Pers.	C, D, E, F	
	<i>Annona squamosa</i> L.	A, D, E, F	재배종
<i>Artobotrys siamensis</i> Miq.	E, F		

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
	<i>Cananga odorata</i> (Lam.) hook. f. & Thomson	E, F	
	<i>Desmos chinensis</i> Lour.	E, F	
	<i>Hexalobus monopetalus</i> (A. Rich.) Engl. & Diels <sup>3</sup>	E	
	<i>Mitrephora maingayi</i> Hook. f. & Thomson <sup>4</sup>	E	
	<i>Polyalthia longifolia</i> (Sonn.) Thwaites	E, F	
	<i>Polyalthia simiarum</i> (Buch.-Ham. ex Hook. f. & Thomson) Benth. ex Hook. f. & Thomson	E, F	
	<i>Rollinia mucosa</i> (Jacq.) Baill. <sup>5</sup>	E, F	
	<i>Uvaria cordata</i> (Dunal) Alston	F	
	<i>Uvaria grandiflora</i> Roxb. ex Hornem.	E, F	
	<i>Uvariama crophylla</i> Roxb.	E	
Apocynaceae	<i>Carissa carandas</i> L.	E, F	
	<i>Carissa spinarum</i> L.	E, F	
	<i>Landolphia</i>	F	
	<i>Ochrosia</i>	F	
	<i>Ochrosia mariannensis</i> A. DC.	E	
	<i>Saba senegalensis</i> (A. DC.) Pichon	C, E, F	
	<i>Thevetia peruviana</i> (pers.) K. Schum.	D, E, F	
	<i>Willughbeia cochinchinensis</i> (Pierre) K. Schum.	E	
	<i>Willughbeia edulis</i> Roxb.	F	
Arecaeae	<i>Adonidia merrillii</i> (Becc.) Becc. <sup>6</sup>	E, F	
	<i>Areca catechu</i> L.	A, E, F	
	<i>Arenga engleri</i> Becc.	A, E	
	<i>Arenga pinnata</i> (Wurmb.) Merr.	E, F	
	<i>Arenga westerhoutii</i> Griff.	E, F	
	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	E	
	<i>Borassus flabellifer</i> L.	E, F	
	<i>Caryota mitis</i> Lour.	E, F	재배종
	<i>Cocos nucifera</i> L.	E	재배종
	<i>Jubaea chilensis</i> (Molina) Baill.	E	
	<i>Phoenix dactylifera</i> L.	E	
Asparagaceae	<i>Dracaena draco</i> (L.) L.	E	재배종
	<i>Dracaena steudneri</i> Schwein f. ex Engl.	E, F	재배종
Boraginaceae	<i>Cordia dentata</i> Poir. <sup>7</sup>	E, F	
	<i>Ehretia microphylla</i> Lam.	E, F	
Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.	E	재배종

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
Bursaceae	<i>Canarium insulare</i>	E	
	<i>Garuga floribunda</i> Decne.	E, F	
Cactaceae	<i>Cereus aethiops</i> Haw.	E	
	<i>Hylocereus undatus</i> (Haw.) Britton & Rose	E, F	
Calophyllaceae	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	E	재배종
	<i>Pereskia grandiflora</i> Pfeiff.	E, F	
	<i>Calophyllum inophyllum</i> L.	E, F	
	<i>Mammea siamensis</i> T. Anderson	E, F	
Cannabaceae	<i>Celtis tetrandra</i> Roxb. <sup>8</sup>	E, F	
	<i>Capparis sepiaria</i> L.	E, F	
	<i>Capparis tomentosa</i> Lam.	E	
	<i>Maerua</i> sp.	E, F	
Caricaceae	<i>Maerua duchesnei</i> (DeWild.) F. White	C	
	<i>Carica papaya</i> L.	A, C, D, E, F	재배종
Celastraceae	<i>Siphonodon</i>	F	
	<i>Siphonodon celastrineus</i> Griff.	E	
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i> L.	E	
Clusiaceae	<i>Parinari anamense</i> Hance	E, F	
	<i>Clusia rosea</i> Jacq.	E	재배종
	<i>Garcinia dioica</i> Blume	E, F	
	<i>Garcinia atroviridis</i> Griff.ex T. Anderson	E, F	
	<i>Garcinia cowa</i> Roxb. ex DC.	F	
	<i>Garcinia dulcis</i> (Roxb.) Kurz	E, F	
	<i>Garcinia griffithii</i> T. Anderson	E, F	
	<i>Garcinia hombroniana</i> Pierre	E, F	
	<i>Garcinia intermedia</i> (Pittier) Hammel	E	
	<i>Garcinia mangostana</i> L.	E, F	재배종
	<i>Garcinia mannii</i> Oliv.	C, E, F	
	<i>Garcinia parvifolia</i> Miq.	E	
	<i>Garcinia prainiana</i> King	E, F	
	<i>Garcinia speciosa</i> Wall.	E, F	
	<i>Garcinia spicata</i> Hook. f.	A	
	<i>Garcinia subelliptica</i> Merr.	E	
<i>Garcinia xanthochymus</i> Hook.f.	E, F		
Combretaceae	<i>Terminalia arenicola</i> Byrnes	D, F	
	<i>Terminalia catappa</i> L.	C, E, F	
	<i>Terminalia chebula</i> Retz.	E, F	
	<i>Terminalia citrina</i> (Gaertn.) Roxb. ex Fleming	E	

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
Convolvulaceae	<i>Erycibe subspicata</i> Wall. ex G.Don	E, F	
	<i>Merremia vitifolia</i> (Burm.f.) Hallierf.	E, F	
Cordiaceae	<i>Cordia myxa</i> L. <sup>9</sup>	D, F	
	<i>Cordia sinensis</i> Lam.	F	
Cornaceae	<i>Alangium chinense</i> (Lour.) Harms	E, F	
	<i>Alangium griffithii</i> (C. B. Clarke) Harms	E	
	<i>Alangium salviifolium</i> (L. f.) Wangerin	E, F	
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita</i> spp.	A	
	<i>Citrullus colocynthis</i> (L.) Schrad.	C, E, F	
	<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai <sup>10</sup>	B, C, D, E, F	
	<i>Coccinia grandis</i> (L.) Voigt	E, F	
	<i>Cucumis ficifolius</i> A. Rich. <sup>11</sup>	D, E, F	
	<i>Cucumis melo</i> L.	E, F	재배종
	<i>Cucumis sativus</i> L.	C, D, E, F	재배종
	<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne	C, D, E, F	재배종
	<i>Cucurbita pepo</i> L. <sup>12</sup>	C, D, E, F	재배종
	<i>Cayaponia laciniosa</i> (L.) C.Jeffrey <sup>13</sup>	D	
	<i>Diplocyclos palmatus</i> (L.) C. Jeffrey	E	
	<i>Gymnopetalum scabrum</i> (Lour.) W. J. de Wilde & Duyfjes	E, F	
	<i>Kedrostis leloja</i> (Forssk.) C. Jeffrey	E	
	<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl.	C, E, F	자생종
	<i>Luffa acutangula</i> (L.) Roxb.	E	
	<i>Luffa aegyptiaca</i> Mill.	E	자생종
	<i>Momordica balsamina</i> L.	E	
	<i>Momordica charantia</i> L.	C, E, F	재배종
	<i>Momordica cochinchinensis</i> (Lour.) Spreng.	E	
	<i>Sechium edule</i> (Jacq.) Sw.	E	
	<i>Trichosanthes boninensis</i> Nakai	E	
	<i>Trichosanthes cucumerina</i> L.	E	
	<i>Trichosanthes dioica</i> Roxb.	E	
<i>Trichosanthes ovigera</i> Blume	E, F		
<i>Zehneria mucronata</i>	E		
<i>Zehneria wallichii</i>	E, F		
Dilleniaceae	<i>Dillenia obovata</i> (Blume) Hoogland	E, F	
Ebenaceae	<i>Diospyros areolata</i> King & Gamble	E, F	
	<i>Diospyros blancoi</i> A. DC.	E, F	
	<i>Diospyros castanea</i> (Craib). H. R. Fletcher	E, F	

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
	<i>Diospyros diepenhorstii</i> Miq.	E, F	
	<i>Diospyros glandulosa</i> Lace	E	
	<i>Diospyros japonica</i> Siebold & Zucc.	E	
	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	A, E, F	자생종, 재배종
	<i>Diospyros lotus</i> L.	B	자생종
	<i>Diospyros malabarica</i> (Desr.) Kostel.	E, F	
	<i>Diospyros maritima</i> Blume	E	
	<i>Diospyros mollis</i> Griff.	E, F	
	<i>Diospyros montana</i> Roxb.	C, D, E, F	
	<i>Diospyros roxburghii</i> Carrière	F	
	<i>Diospyros sandwicensis</i> (A. DC.) Fosberg	E	
	<i>Diospyros vera</i> (Lour.) A. Chev.	E	
Elaeocarpaceae	<i>Elaeocarpus hygrophilus</i> Kurz	E, F	
	<i>Elaeocarpus serratus</i> L.	E	
Ericaceae	<i>Vaccinium reticulatum</i> Sm.	E	
Euphorbiaceae	<i>Aporusa villosa</i> (Lindl.) Baill.	E, F	
	<i>Balakata baccata</i> (Roxb.) Esser	E, F	
	<i>Excoecaria agallocha</i> L.	E, F	
	<i>Glochidion littorale</i> Blume	E, F	
	<i>Phyllanthus acidus</i> (L.) Skeels	E	
	<i>Shirakiopsis indica</i> (Willd.) Esser	E, F	
Fabaceae	<i>Adenanthera pavonina</i> L.	E, F	
	<i>Afzelia xylocarpa</i> (Kurz) Craib	E, F	
	<i>Cordyla africana</i> Lour.	F	
	<i>Cordyla pinnata</i> (A.Rich.) Milne-Redh.	D, E	
	<i>Inocarpus fagifer</i> (Parkinson) Fosberg <sup>14</sup>	E, F	
	<i>Parkia speciosa</i> Hassk.	E, F	
	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	E, F	재배종
	<i>Sesbania grandiflora</i> (L.) Poir.	E	
Fagaceae	<i>Castanopsis</i>	F	
Flacourtiaceae	<i>Dovyalis hebecarpa</i> (Gardner) Warb.	E, F	
	<i>Flacourtia indica</i> (Burmanf.) Merrill	D, E	
	<i>Flacourtia rukam</i> Zoll. & Moritzi	E, F	
Gentianaceae	<i>Fagraea ceilanica</i> Thunb.	E, F	
Hanguanaceae	<i>Hanguana malayana</i> (Jack) Merr.	E, F	
Irvingiaceae	<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry-Lecomte ex O'Rorke) Baill.	C, D, E, F	
	<i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex A. W. Benn.	E, F	
Juglandaceae	<i>Juglans hindsii</i> (Jeps.)R.E.Sm.	E	
	<i>Juglans nigra</i> L.	E	재배종



과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
Lamiaceae	<i>Juglans regia</i> L.	E	재배종
	<i>Callicarpa longifolia</i> Lam.	E, F	
	<i>Gmelina elliptica</i> Sm.	E, F	
	<i>Gmelina philippensis</i> Cham.	E, F	
	<i>Premna serratifolia</i> L.	E, F	
Lauraceae	<i>Cinnamomum tenuifolium</i> (Makino) Sugim. <sup>15</sup>	A	
	<i>Cinnamomum yabunikkei</i> H. Ohba	E	자생종
	<i>Lindera oxyphylla</i> Hk. f.	E	
	<i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) C. B. Rob.	E, F	
	<i>Litsea japonica</i> (Thunb.) Juss. <sup>16</sup>	A	자생종
	<i>Litsea salicifolia</i> (J. Roxb. ex Nees) Hook. f.	E, F	
	<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.	A, E	자생종
	<i>Neolitsea sericea</i> (Blume) Koidz.	E	자생종
	<i>Persea americana</i> Miller	A, C, D, E, F	재배종
Lecythidaceae	<i>Barringtonia edulis</i> Seem.	E, F	
	<i>Careya arborea</i> Roxb.	E, F	
	<i>Careya sphaerica</i> Roxb.	E	
Loganiaceae	<i>Fragaea berteriana</i> Benth var. <i>sair</i> Gilg.&Benedict	E	
	<i>Strychnos mellodora</i> S. Moore	D, E, F	
Lythraceae	<i>Punica granatum</i> L.	A, E, F	재배종
Malpighiaceae	<i>Malpighia emarginata</i> DC.	E, F	
	<i>Malpighia glabra</i> L.	C, E, F	
Malvaceae	<i>Durio zibethinus</i> L.	C	재배종
	<i>Gossypium barbadense</i> L.	E	
	<i>Theobroma cacao</i> L.	E, F	재배종
Meliaceae	<i>Azadirachta excelsa</i> (Jack) M. Jacobs	E, F	
	<i>Chukrasia tabularis</i> A. Juss.	E, F	
	<i>Heynea trijuga</i> Roxb. ex Sims	E, F	
	<i>Lansium domesticum</i> Corrêa	E, F	
	<i>Lansium parasiticum</i> (Osbeck) K. C. Sahni & Bennet	E	
	<i>Sandoricum koetjape</i> (Burm.f.) Merrill	E, F	
	<i>Fibraurea tinctoria</i> Lour.	E, F	
Moraceae	<i>Antiaris toxicaria</i> (Pers.) Lesch.	E	
	<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg <sup>17</sup>	A, E, F	
	<i>Artocarpus chama</i> Buch.-Ham.	E	
	<i>Artocarpus elastica</i> Reinw. ex Blume	E, F	

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	E, F	재배종
	<i>Artocarpus integer</i> (Thunb.) Merr.	E, F	
	<i>Artocarpus lacucha</i> Buch.-Ham.	E, F	
	<i>Artocarpus lanceifolius</i> Roxb.	E, F	
	<i>Artocarpus lanceolatus</i> Trécul	E, F	
	<i>Artocarpus odoratissimus</i> Blanco <sup>18</sup>	E, F	
	<i>Artocarpus rigidus</i> subsp. <i>asperulus</i> (Gagnep.) F. M. Jarrett	E, F	
	<i>Artocarpus sericarpus</i> F. M. Jarrett	E, F	
	<i>Ficus auriculata</i> Lour.	E, F	
	<i>Ficus benamina</i> L.	E, F	
	<i>Ficus carica</i> L.	A, E	재배종
	<i>Ficus chartacea</i> (Wall. ex Kurz) Wall. ex King	E, F	
	<i>Ficus concatian</i>	E	
	<i>Ficus eligodon</i>	E	
	<i>Ficus erecta</i> Thunb.	E	자생종
	<i>Ficus fistulosa</i> Reinw. ex Blume	E, F	
	<i>Ficus hirta</i> Vahl	E, F	재배종
	<i>Ficus hispida</i> L. f.	E, F	
	<i>Ficus microcarpa</i> L. f.	E, F	재배종
	<i>Ficus obpyramidiata</i>	E, F	
	<i>Ficus ottoniifolia</i> Miq.	E, F	
	<i>Ficus pumila</i> L.	E	재배종
	<i>Ficus racemosa</i> L.	E, F	
	<i>Ficus religiosa</i> L.	E, F	재배종
	<i>Ficus retusa</i> L.	A	재배종
	<i>Ficus septica</i> Burm. f.	E	
	<i>Ficus sycomorus</i> L.	C, F	
	<i>Ficus virgata</i> Reinw. ex Blume	E	
	<i>Maclura cochinchinensis</i> (Lour.) Corner	E, F	
	<i>Morus alba</i> L.	E, F	자생종, 재배종
	<i>Morus nigra</i> L.	E, F	재배종
	<i>Streblus asper</i> Lour.	E, F	
Muntingiaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	E, F	
Musaceae	<i>Musa</i> spp.	A, C, D, E, F	
	<i>Musa</i> × <i>paradisiaca</i> L. <sup>19</sup>	E, F	재배종
	<i>Musa acuminata</i> Colla	E, F	재배종
	<i>Musa balbisiana</i> Colla	D, F	

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
	<i>Musa troglodytarum</i> L.	E, F	
Myricaceae	<i>Morella rubra</i> Lour.	E	자생종
Myristicaceae	<i>Horsfieldia subglobosa</i> Warb.	E	
	<i>Knema globularia</i> (Lam.) Warb.	E, F	
Myrtaceae	<i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret	E	재배종
	<i>Eugenia reinwardtiana</i> (Blume) DC.	E	
	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	E	
	<i>Eugenia palumbis</i> Merr.	F	
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	E, F	
	<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merrill	E	
	<i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel <sup>20</sup>	F	
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine var. <i>littorale</i> (Raddi) Fosberg <sup>21</sup>	D	
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine <sup>22</sup>	A, E, F	재배종
	<i>Psidium guajava</i> L.	A, B, C, D, E, F	재배종
	<i>Rhodomyrtus tomentosa</i> (Aiton) Hassk.	E, F	
	<i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L. M. Perry	E, F	
	<i>Syzygium aqueum</i> (Burm.f.) Alston	F	
	<i>Syzygium borneense</i> (Miq.) Miq.	E, F	
	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	D, E, F	
	<i>Syzygium formosanum</i> (Hayata) Mori.	E, F	
	<i>Syzygium grande</i> (Wight) Walp.	E, F	
	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	C, D, E, F	재배종
	<i>Syzygium lineatum</i> (DC.) Merr. & L. M. Perry	E, F	
	<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merrill & L. M. Perry	C, D, E, F	
	<i>Syzygium megacarpum</i> (Craib) Rathakr. & N.C.Nair <sup>23</sup>	E, F	
	<i>Syzygium nervosum</i> DC.	E, F	
	<i>Syzygium samarangense</i> (Blume) Merr. & L. M. Perry	A, D, E, F	
Olacaceae	<i>Olax scandens</i> Roxb.	E	
	<i>Schoepfia fragrans</i> Wall.	E, F	
Oleaceae	<i>Chionanthus parkinsonii</i> (Hutch.) Bennet & Raizada	E, F	
	<i>Myxopyrum smilacifolium</i> Blume	E, F	
	<i>Nestegis sandwicensis</i> (A. Gray) O. Deg., I. Deg. & L. A. S. Johnson	E	
	<i>Olea europaea</i> L.	E	재배종

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
Orchidaceae	<i>Papilionanthe hookeriana</i> (Rchb. f.) Schltr. × <i>Papilionanthe teres</i> (Roxb.) Schltr.	E	
Oxalidaceae	<i>Averrhoa bilimbi</i> L. <i>Averrhoa carambola</i> L.	E, F A, C, D, E, F	재배종 ( <i>Averrhoa carambola</i> 'Ell Lin')
Pandanaceae	<i>Pandanus fragrans</i> Gaudich. <i>Pandanus odorifer</i> (Forssk.) Kuntze	E E	
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i> Sims <i>Passiflora foetida</i> L. <i>Passiflora incarnata</i> L. <i>Passiflora laurifolia</i> L. <i>Passiflora ligularis</i> Juss. <i>Passiflora quadrangularis</i> L. <i>Passiflora suberosa</i> L. <i>Passiflora tripartita</i> (Juss.) Poir. var. <i>mollissima</i> (Kunth) Holm-Niels. & P.Jørg.	A, E, F E, F E E, F E E, F F E	재배종
Phyllanthaceae	<i>Antidesma ghaesembilla</i> Gaertn. <i>Baccaurea angulata</i> Merr. <i>Baccaurea motleyana</i> (Müll. Arg.) Müll. Arg.  <i>Baccaurea racemosa</i> (Reinw.) Müll. Arg. <i>Baccaurea ramiflora</i> Lour. <i>Bischofia javanica</i> Blume <i>Breynia racemosa</i> (Blume) Müll.Arg. <sup>24</sup> <i>Bridelia stipularis</i> (L.) Blume <i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd) Royle <i>Sauropus androgynus</i> (L.) Merr.	E, F E E, F  E, F E, F E E, F E, F E, F E, F	재배종
Piperaceae	<i>Piper nigrum</i> L.	F	
Polygalaceae	<i>Xanthophyllum flavescens</i> Roxb. <i>Coccoloba uvifera</i> (L.) L.	E, F E	재배종
Primulaceae	<i>Ardisia crenata</i> Sims	E, F	자생종
Putranjivae	<i>Putranjiva roxburghii</i> Wall.	B	
Rhamnaceae	<i>Ziziphus hysudrica</i> <sup>25</sup> <i>Ziziphus jujuba</i> Mill. <sup>26</sup> <i>Ziziphus mauritiana</i> Lam. <i>Ziziphus nummularia</i> (Burm. f.) Wight & Arn. <i>Ziziphus oenoplia</i> (L.) Mill.	B B, E, F C, D, E, F E, F  E, F	자생종, 재배종
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora</i>	F	

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb) Lindl.	A, B, C, D, E, F	재배종
	<i>Fragaria ×ananassa</i> Duchesne ex Rozier	E	재배종
	<i>Fragaria chiloensis</i> (L.) Mill.	E	
	<i>Malus domestica</i> Borkh. <sup>27</sup>	B, D, E, F	자생종
	<i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.	E	
	<i>Prunus armeniaca</i> L.	B, E, F	자생종, 재배종
	<i>Prunus avium</i> (L.) L.	E, F	자생종, 재배종
	<i>Prunus bokhariensis</i> Royle ex C.K.Schneid	B	
	<i>Prunus campanulata</i> Maxim.	E	재배종
	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	E	
	<i>Prunus cerasoides</i> D. Don	E	
	<i>Prunus cerasus</i> L.	E, F	자생종, 재배종
	<i>Prunus domestica</i> L.	E, F	자생종, 재배종
	<i>Prunus ilicifolia</i> (Nutt. ex Hook. & Arn.) D. Dietr.	E, F	
	<i>Prunus mume</i> Siebold & Zucc.	E	자생종, 재배종
	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch.	A, B, D, E, F	자생종, 재배종
	<i>Prunus salicina</i> Lindl.	A, E, F	자생종, 재배종
	<i>Pyrus communis</i> L.	B, E, F	재배종
	<i>Pyrus pashia</i> Buch.-Ham. ex D. Don	B, E	재배종
	<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm. f.) Nakai <sup>28</sup>	B, E, F	자생종, 재배종
Rubiaceae	<i>Breonia chinensis</i> (Lam.) Capuron	F	
	<i>Coffea arabica</i> L.	D, E, F	재배종
	<i>Coffea canephora</i> Pierre ex A. Froehner	D, E, F	
	<i>Gynochthodes umbellata</i> (L.) Razafim. & B. Bremer	E, F	
	<i>Ixora javanica</i> (Blume) DC.	E, F	
	<i>Ixora macrothyrsa</i> (Teijsm. & Binn.) R. Br.	E, F	
	<i>Morinda citrifolia</i> L.	E, F	재배종
	<i>Morinda coreia</i> Buch.-Ham.	E, F	
	<i>Nauclea orientalis</i> (L.) L.	E, F	
	<i>Neolamarckia cadamba</i> (Roxb.) Bosser	E	
	<i>Neonauclea purpurea</i> (Roxb.) Merr.	F	
	<i>Ochreinauclea maingayi</i> (Hook. f.) Ridsdale	E, F	
	<i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) Bruce	C, D, E, F	
	<i>×Citrofortunella floridana</i> J. W. Ingram & H. E. Moore	E	
Rutaceae			

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
	× <i>Citrofortunella microcarpa</i> (Bunge) Wijnands	E, F	
	<i>Aegle marmelos</i> (L.) Corrêa	E	
	<i>Casimiroa edulis</i> La Llave & Lex.	E, F	재배종
	<i>Citrus</i> × <i>tangelo</i> J. W. Ingram & H. E. Moore	D, E	
	<i>Citrus aurantiifolia</i> (Christm. Swingle)	E, F	
	<i>Citrus aurantium</i> L.	A, D, E, F	자생종, 재배종
	<i>Citrus clementina</i> Hort. ex Tanaka	E	
	<i>Citrus deliciosa</i> Ten.	E	
	<i>Citrus depressa</i> Hayata	E	
	<i>Citrus hystrix</i> DC.	E, F	
	<i>Citrus jambhiri</i> Lush.	E	
	<i>Citrus keraji</i> Hort. ex Tanaka	E	
	<i>Citrus latifolia</i> (Yu. Tanaka) Tanaka	E, F	
	<i>Citrus limetta</i> Risso	E	
	<i>Citrus limon</i> (L.) Burm. f.	C, D, E, F	재배종
	<i>Citrus limonia</i> Osbeck	E	
	<i>Citrus maxima</i> (Burm.) Merrill <sup>29</sup>	A, D, E, F	
	<i>Citrus medica</i> L.	A	자생종 ( <i>Citrus medica</i> var. <i>junos</i> Siebold)
	<i>Citrus natsudaidai</i> Hayata	A, E	재배종
	<i>Citrus nobilis</i> Lour.	A, E	
	<i>Citrus oto</i> Hort. ex Yu. Tanaka	E	
	<i>Citrus paradisi</i> Macfady	C, D, E, F	
	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	A, C, D, E, F	
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	C, D, E, F	재배종
	<i>Citrus swinglei</i> Burkill ex Harms	D, F	
	<i>Citrus unshiu</i> Marow.	A, E	재배종
	<i>Clausena lansium</i> (Lour.) Skeels	A, E, F	
	<i>Fortunella japonica</i> (Thunb.) Swingle	D, E, F	재배종
	<i>Fortunella margarita</i> (Lour.) Swingle	A, D, E, F	재배종
	<i>Fortunella polyandra</i> (Ridl.) Tanaka	E, F	
	<i>Glycosmis pentaphylla</i> (Retz.) DC.	E, F	
	<i>Murraya exotica</i> L.	A, E	
	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	E, F	재배종
	<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.	A, E, F	재배종
	<i>Toddalia asiatica</i> (L.) Lam. <sup>30</sup>	E	
	<i>Triphasia trifolia</i> (Burm. f.) P. Wilson	E, F	
Santalaceae	<i>Santalum paniculatum</i> Hook. & Arn.	E	

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
Sapindaceae	<i>Blighia</i> sp.	C, E, F	
	<i>Blighia sapida</i> K .D .Koenig	D	
	<i>Dimocarpus longan</i> Lour. <sup>31</sup>	A, E, F	재배종
	<i>Lepisanthes alata</i> (Blume) Leenh.	E	
	<i>Lepisanthes fruticosa</i> (Roxb.) Leenh.	E, F	
	<i>Lepisanthes rubiginosa</i> (Roxb.) Leenh.	E, F	
	<i>Lepisanthes tetraphylla</i> (Vahl) Radlk.	E, F	
	<i>Litchi chinensis</i> Sonn.	A, E, F	재배종
	<i>Nephelium cuspidatum</i> Blume var. <i>eripetalum</i> (Miq.) Leenh.	E	
	<i>Nephelium lappaceum</i> L.	A, E, F	재배종
Sapotaceae	<i>Pometia pinnata</i> J. R. Forst. & G. Forst.	E, F	
	<i>Chrysophyllum albidum</i> G. Don	C, D, E, F	
	<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	E, F	재배종
	<i>Chrysophyllum roxburghii</i> G. Don	E	
	<i>Manilkara jaimiqui</i> (C. Wright) Dubard subsp. <i>emarginata</i> (L.) Cronquist	E	
	<i>Manilkara sapota</i> (L.) Van Royen	D	
	<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	E, F	재배종
	<i>Mimusops elengi</i> L.	E, F	
	<i>Palaquium</i>	F	
	<i>Palaquium maingayi</i> (C. B. Clarke) King & Gamble	E, F	
	<i>Planchonella</i>	F	
	<i>Planchonella duclitan</i> (Blanco) Bakh. f.	E, F	
	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	E, F	
	<i>Pouteria campechiana</i> (Kunth) Baehni	E, F	
	<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H. E. Moore & Stearn	E	
	<i>Pouteria viridis</i> (Pittier) Cronquist	E	
	<i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn.	C, D, E, F	
	Simaroubaceae	<i>Simarouba glauca</i> DC.	E
Solanaceae	<i>Brugmansia</i> × <i>candida</i> Pers.	E	재배종 ( <i>Brugmansia xcandida</i> 'Grand Marnier')
	<i>Capsicum annuum</i> L.	A, D, E, F	자생종, 재배종
	<i>Capsicum chinense</i> Jacq.	E	
	<i>Capsicum frutescens</i> L.	A, C, D, E, F	
	<i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.	E	
	<i>Cestrum latifolium</i> Lam.	E	

과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
	<i>Cestrum nocturnum</i> L.	E	재배종
	<i>Datura stramonium</i> L.	E	귀화식물
	<i>Lycianthes biflora</i> (Lour.) Bitter	E	
	<i>Nicandra physalodes</i> (L.) Gaertn.	E	귀화식물
	<i>Nicotiana glauca</i> Graham	E	
	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	E	재배종
	<i>Physalis angulata</i> L.	E, F	귀화식물
	<i>Physalis minima</i> L.	E	
	<i>Physalis peruviana</i> L.	E	
	<i>Physalis philadelphica</i> Lam.	E	
	<i>Physalis pubescens</i> L.	E	
	<i>Solanum americanum</i> Mill.	E	귀화식물
	<i>Solanum capsicoides</i> All.	D, E, F	
	<i>Solanum aculeatissimum</i> Jacq.	F	
	<i>Solanum aethiopicum</i> L.	E, F	
	<i>Solanum anguivi</i> Lam.	E	
	<i>Solanum betaceum</i> Cav.	F	
	<i>Solanum donianum</i> Walp.	E	
	<i>Solanum erianthum</i> D. Don	E	
	<i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav.	E	
	<i>Solanum granuloso-leprosum</i> Dunal	E	
	<i>Solanum hazenii</i> Britton	F	
	<i>Solanum incanum</i> L.	D, E, F	
	<i>Solanum lasiocarpum</i> Dunal	E	
	<i>Solanum linnaeanum</i> Hepper & P.-M. L.	E	
	Jaeger		
	<i>Solanum lycopersicum</i> L. <sup>32</sup>	A, D, E, F	재배종
	<i>Solanum macrocarpon</i> L.	E	
	<i>Solanum mammosum</i> L.	E	
	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	E	
	<i>Solanum melongena</i> L.	E, F	자생종, 재배종
	<i>Solanum muricatum</i> Aiton	E	재배종
	<i>Solanum nigrescens</i> M. Martens & Galeotti	E	
	<i>Solanum nigrum</i> L.	D, E	자생종, 재배종, 귀화식물
	<i>Solanum pimpinellifolium</i> L.	E	
	<i>Solanum pseudocapsicum</i> L.	E	
	<i>Solanum quitoense</i> Lam.	E	
	<i>Solanum rudepannum</i> Dunal	F	



과명(Family)	학명	인용문헌 <sup>1</sup>	국내 위상
	<i>Solanum scabrum</i> Mill.	E	
	<i>Solanum seaforthianum</i> Andrews	E	
	<i>Solanum sessiliflorum</i> Dunal	E	
	<i>Solanum sodomeum</i> L.	D, F	
	<i>Solanum stramonifolium</i> Jacq.	E, F	
	<i>Solanum torvum</i> Sw.	E, F	
	<i>Solanum trilobatum</i> L.	E, F	
	<i>Solanum tuberosum</i> L.	E	재배종
Staphyleaceae	<i>Turpinia ternata</i> Nakai	E	
Thymelaeaceae	<i>Wikstroemia phillyreifolia</i> A. Gray	E	
Tiliaceae	<i>Microcos tomentosa</i> Sm.	E, F	
Vitaceae	<i>Cissus repens</i> Lam.	E, F	
	<i>Vitis vinifera</i> L.	E	자생종, 재배종
Ximeniaceae	<i>Ximenia americana</i> L.	E, F	
Zingiberaceae	<i>Alpinia mutica</i> Roxb.	E, F	

1 인용문헌 표기. A: Sakae (1968) B: Syed et al. (1970) C: Ekesi and Billah (2006), D: EPPO (2010), E: Liquido et al. (2015), F: CABI (2018)

2 Ekesi and Billah (2006) 과 EPPO (2010) 에서 동종이명으로 표기; *Spondias cytherea*

3 *Exalobus monopetalus* (Liquido et al., 2015) 에서 수정함

4 CABI (2018) 에서 동종이명으로 표기; *Mitrephora teysmannii*

5 CABI (2018) 에서 동종이명으로 표기; *Rollinia pulchrinervia*

6 CABI (2018) 에서 동종이명으로 표기; *Veichia merrillii*

7 CABI (2018) 에서 동종이명으로 표기; *Cordia alba*

8 *Celtis tetrandia* Liquido et al., 2015) 에서 수정함

9 원표기; *Cordia* sp. cf *myxa* (EPPO, 2010)

10 Syed et al. (1970) 에서 동종이명으로 표기; *Citrullus vulgaris*

11 EPPO (2010) 에서 동종이명으로 표기; *Cucumis figarei*

12 EPPO, 2010 에서 동종이명으로 표기; *Cucumis pepo*

13 Sakae (1968) 에서 동종이명으로 표기; *Bryonopsis laciniosa*

14 *Inocarpus fagiferus* (Liquido et al., 2015) 에서 수정함

15 Sakae (1968); 에서 동종이명으로 표기 *Cinnamomum japonicum*

16 원표기; Hamabiwa (common name in Japanese) (Sakae, 1968)

17 Sakae (1968) 에서 동종이명으로 표기; *Artocarpus communis*

18 CABI (2018) 에서 동종이명으로 표기; *Artocarpus nitidus*

19 Sakae (1968) 에서 동종이명으로 표기; *Musa sapientum*

20 CABI (2018) 에서 동종이명으로 표기; *Myrciaria cauliflora*

21 Sakae (1968) 에서 동종이명으로 표기; *Psidium cattleianum*

- 22 EPPO (2010) 에서 동종이명으로 표기; *Psidium littorale*
- 23 Liquido et al. (2015) 에서 동종이명으로 표기; *Eugenia megacarpa*
- 24 Liquido et al. (2015) 에서 동종이명으로 표기; *Breynia reclinata*
- 25 *Zizyphus hysudrica* (Syed, 1970) 에서 수정함
- 26 Syed et al. (1970) 에서 동종이명으로 표기; *Zizyphus sativa*
- 27 Syed et al. (1970) 에서 동종이명으로 표기; *Malus pumilla*
- 28 Syed et al. (1970) 에서 동종이명으로 표기; *Pyrus sinensis*
- 29 Sakae (1968) and EPPO (2010) 에서 동종이명으로 표기; *Citrus grandis*
- 30 *Taddalia asiatica* (Liquido et al., 2015) 에서 수정함
- 31 Sakae (1968) 에서 동종이명으로 표기; *Euphoria longana*
- 32 Sakae (1968) 와 EPPO (2010) 에서 동종이명으로 표기; *Lycopersicon esculentum*

SD 표 4. 오리엔탈과실파리 복합종의 기주식물 감염율 기록

국가 및 지역	종	감염율 (%)	인용문헌
	<i>Annona cherimola</i> Mill.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	15~50	Rwonushana et al., 2008
	<i>Annona muricata</i> L.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	6~20	Rwonushana et al., 2008
	<i>Annona squamosa</i> L.		
Mozambique	<i>B. invadens</i>	37	Jose et al., 2013
Kenya	<i>B. invadens</i>	54	Rwonushana et al., 2008
	<i>Capsicum annum</i> L.		
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	3	Yasuda, 1978
	<i>Carica papaya</i> L.		
USA, Hawaii	<i>B. dorsalis</i>	55	Clerke et al., 2005
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	23	Yasuda, 1978
	<i>Citrus limon</i> (L.) Burm. f.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	0~29	Rwonushana et al., 2008
	<i>Citrus reticulata</i> Blanco		
Kenya	<i>B. invadens</i>	10~12	Rwonushana et al., 2008
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	11	Yasuda, 1978
	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck		
Kenya	<i>B. invadens</i>	0~29	Rwonushana et al., 2008
	<i>Cordia myxa</i> L.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	6	Rwonushana et al., 2008
	<i>Diplocyclos palmatus</i> (L.) C.Jeffrey		
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	2	Yasuda, 1978
	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.		
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	5~10	Syed et al., 1970
	<i>Ficus erecta</i> Thunb.		
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	2	Yasuda, 1978
	<i>Garcinia subelliptica</i> Merr.		
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	19	Yasuda, 1978
	<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.		
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	15	Yasuda, 1978
	<i>Mangifera indica</i> L.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	1~64	Ekesi et al., 2006
	<i>B. invadens</i>	1~60	Rwonushana et al., 2008
Mozambique	<i>B. invadens</i>	57	Jose et al., 2013
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	100	Syed et al., 1970
India	<i>B. dorsalis</i>	0~94	Verghese et al., 2002

국가 및 지역	종	감염율 (%)	인용문헌
	<i>B. dorsalis</i>	0~87	Godse and Bhole, 2003
	<i>Mangifera indica</i> L.		
India	<i>B. dorsalis</i>	31~88	Mann, 1996
	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack		
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	0.2	Yasuda, 1978
	<i>Musa</i> sp. AAA		
Kenya	<i>B. invadens</i>	0~36	Rwonushana et al., 2008
	<i>Nephelium lappaceum</i> L.		
USA, Hawaii	<i>B. dorsalis</i>	0.1	Clerke et al., 2005
	<i>Prunus armeniaca</i> L.		
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	48	Syed et al., 1970
	<i>Prunus bokhariensis</i> Royle ex C.K.Schneid.		
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	5~54	Syed et al., 1970
	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch.		
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	5~14	Syed et al., 1970
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	15	Yasuda, 1978
	<i>Psidium guajava</i> L.		
Mozambique	<i>B. invadens</i>	92.49	Jose et al., 2013
Kenya	<i>B. invadens</i>	12~34	Rwonushana et al., 2008
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	5~86	Syed et al., 1970
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	31	Yasuda, 1978
	<i>Punica granatum</i> L.		
Mozambique	<i>B. invadens</i>	7	Jose et al., 2013
	<i>Pyrus pashia</i> Buch.-Ham. ex D.Don		
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	20	Syed et al., 1970
	<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm. f.) Nakai		
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	20~64	Syed et al., 1970
	<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	36~41	Rwonushana et al., 2008
	<i>Solanum lycopersicum</i> L.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	1~9	Rwonushana et al., 2008
	<i>Sorindeia madagascariensis</i> DC.		
Kenya	<i>B. invadens</i>	1	Rwonushana et al., 2008
	<i>Terminalia catappa</i> L.		
Mozambique	<i>B. invadens</i>	67.32	Jose et al., 2013
Kenya	<i>B. invadens</i>	19~83	Rwonushana et al., 2008
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	48	Yasuda, 1978
	<i>Toddalia asiatica</i> (L.) Lam.		

국가 및 지역	종	감염율 (%)	인용문헌
Japan, Okinawa	<i>B. dorsalis</i>	2	Yasuda, 1978
	<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.		
Pakistan	<i>B. dorsalis</i>	20~50	Syed et al., 1970

SD 표 5. 제주 선택된 지역 내에서 관찰된 오리엔탈과실파리 각 기주식물의 과실 가용성 계산을 위한 기본 생물정보 수집

Species	Class of host plants (preference)		Fruit phenology and general characteristic										
	USDA category <sup>1</sup>	Weight value <sup>2</sup>	Shape of fruit	Diameter	Length	No. fruit per tree	Fruit weight (g) <sup>3</sup>	Recommended planting density (ea/10a)	Yield per area (kg/10) <sup>4</sup>	Yield per tree (g)	Start maturing (Julian date)	End of harvest (Julian date)	Reference <sup>5</sup>
<i>Crinum asiaticum</i>		0.1	Flat oval	25	20	10	2.21			22.08	244	334	A
<i>Diospyros kaki</i>	P	1							5000.00		274	304	B
<i>Machilus thunbergii</i>		0.1	Spherical	11.5	11.5	1000	0.27			268.69	182	243	A
<i>Neolitsea serica</i>		0.1	Spherical	12	12	1000	0.31			305.28	274	304	A
<i>Ficus carica</i>	P	1						167	1900	11377.25	213	304	B
<i>Morus alba</i>		0.1						222	900	4054.05	152	212	B
<i>Opuntia ficus-indica</i>	P	1						9920	5255	529.74	60	151	B
<i>Punica granatum</i>	P	1						926	1814	1958.96	244	304	B
<i>Ziziphus jujuba</i>	U	0.1						42	305	7261.90	244	304	B
<i>Eriobotrya japonica</i>	P	1						111	193	1738.74	151	181	B
<i>Fragaria ananassa</i>		0.1						9000	1450	161.11	182	212	B, C
<i>Malus pumila</i>		0.1						260	1733	6665.38	213	273	B, C
<i>Prunus mume</i>		0.1						56	703	12553.57	152	212	B
<i>Prunus persica</i>	P	1						28	1233	44035.71	202	263	B, C
<i>Pyrus communis</i>	P	1								65000.00	182	304	D
<i>Pyrus pyrifolia</i>		0.1						56	2538	45321.43	213	243	B, C
<i>Fortunella japonica</i>		0.1						83	3180	38313.25	274	334	B
<i>Citrus unshiu</i>	P	1						83	3162	38096.39	305	334	B, C
<i>Citrus unshiu</i>	P	1						83	3162	38096.39	305	365	B, C
<i>Citrus unshiu</i> (overwintered)	P	1						83	3162	38096.39	0	120	B, C

<i>Capsicum annuum</i>	P	1					2857	293	102.56	213	304	B, C
<i>Lycopersicon esculentum</i>	P	1					3704	6590	1779.16	182	243	B, C
<i>Solanum melongena</i>	U	0.1					926	1088	1174.95	182	273	B
<i>Solanum nigrum</i>		0.1	Spherical	6.5	6.5	20	0.05		0.97	244	273	A
<i>Vitis vinifera</i>		0.1					137	1527	11145.99	213	273	B, C

<sup>1</sup> USDA 분류에 따른 기주식물 등급 (Liquido et al., 2015): P: 선호기주; U: 미확인

<sup>2</sup> 가중치: UDDA 분류에 따라 P 일 때 1.0, U 일 때 0.1; USDA 분류에 속하지 않는 기주 중에서도 비선호 기주는 0.1로 할당함

<sup>3</sup>  $(1/6) \times (\text{과실 길이}/10) \times (\text{과실 직경}/10)^2 \times 1.06$  로 계산 (Mutsher et al., N.D)

<sup>4</sup>  $(\text{과실 중량}) \times (\text{기주 그루수}) \times 1000(\text{g/kg})$  또는  $(\text{단위면적당 수량}) / (\text{추천 재식수})$  로 계산

<sup>5</sup> 기주식물 페놀로지 및 일반적 특성들은 다음 출처 참고; A: <http://www.nature.go.kr>; 국립수목원, B: <http://www.nongsaro.go.kr>; 농촌진흥청 농사로, C: <http://kostat.go.kr>; 통계청, D: Álvarez-Fernández, 2011

SD 표 6. 감염 과실 중량 (kg) 당 오리엔탈과실파리 성충 우화수

기주식물 학명	국가	오리엔탈 과실파리 종 <sup>1</sup>	과실 개수	과실 총중량 (kg) <sup>2</sup>	감염율 (%)	감염중량 (kg) <sup>3</sup>	감염 과실수 <sup>4</sup>	감염과실당 우화수 <sup>5</sup>	총 과실당 우화수	감염과실 중량당 우화수 <sup>6</sup>	인용문헌 <sup>7</sup>
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	113	37.8	1.2*	0.45*	1.0*	1.0	2.2	2.2	E
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	56	18.2	3.0*	0.55*	2.0*	2.0	3.6	3.6	E
<i>Annona squamosa</i>	Kenya	inv	58	13.2	54.1	7.14*	31.0*	33.0	4.6	4.6	R
<i>Mangifera indica</i>	Hawaii, USA	dor	84	31.8	100.0	31.75*	84.0	184.0	5.8	5.8	H
<i>Psidium guajava</i>	Hawaii, USA	dor	14	3.0	100.0	3.04*	14.0	20.0	6.6	6.6	H
<i>Citrus sinensis</i>	Kenya	inv	114	10.4	28.5	2.96*	32.0*	23.0	7.8	7.8	R
<i>Litchi chinensis</i>	Hawaii, USA	dor	110	1.6	100.0	1.59	110.0	13.0	8.2	8.2	H
<i>Citrus sinensis</i>	Kenya	inv	101	9.8	12.6	1.23*	13.0*	11.0	8.9	8.9	R
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	36	12.5	8.7*	1.09*	3.0*	10.0	9.2	9.2	E
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	980	0.3	100.0	0.29*	980.0	3.0	10.2	10.2	H
<i>Psidium guajava</i>	Kenya	inv	84	9.8	31.3	3.07*	26.0*	41.0	13.4	13.4	R
<i>Citrus reticulata</i>	Hawaii	dor	41	4.3	100.0	4.34*	41.0	65.0	15.0	15.0	H
<i>Citrus sinensis</i>	Kenya	inv	224	25.6	12.7	3.25*	28.0*	49.0	15.1	15.1	R
<i>Mangifera indica</i>	Tanzania	dor	10	2.2	100.0	2.20	10.0	37.0	16.8	16.8	M
<i>Mangifera indica</i>	Tanzania	dor	5	1.1	100.0	1.10	5.0	20.0	18.2	18.2	M
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	32	11.6	6.8*	0.79*	2.0*	15.0	19.1	19.1	E
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Kenya	inv	123	1.2	8.7	0.10*	11.0*	2.0	19.2	19.2	R
<i>Mangifera indica</i>	Tanzania	dor	10	2.2	100.0	2.20	10.0	45.0	20.5	20.5	M
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	145	40	31.2	12.48*	45.0*	257.0	20.6	20.6	R
<i>Mangifera indica</i>	Tanzania	dor	8	2.4	100.0	2.40*	8.0	50.0	20.8	20.8	M
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	121	40.5	72.8*	29.48*	88.0*	624.0	21.2	21.2	E
<i>Annona muricata</i>	Kenya	inv	16	6.5	6.3	0.41*	1.0*	9.0	22.0	22.0	R
<i>Eugenia malaccensis</i>	Hawaii, USA	dor	360	15.7	100.0	15.72*	360.0	350.0	22.3	22.3	H
<i>Eugenia jambos</i>	Hawaii, USA	dor	68	1.4	100.0	1.36*	68.0	33.0	24.3	24.3	H
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	112	29.5	40.2	11.86*	45.0*	296.0	25.0	25.0	R
<i>Mangifera indica</i>	Tanzania	dor	2	0.4	100.0	0.40	2.0	10.0	25.0	25.0	M
<i>Fortunella japonica</i>	Hawaii, USA	dor	10	0.1	100.0	0.10*	10.0	3.0	28.8	28.8	H
<i>Citrus sinensis</i>	Kenya	inv	15	1.9	12.5	0.24*	2.0*	7.0	29.5	29.5	R
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	55	18.3	56.1*	10.26*	31.0*	303.0	29.5	29.5	E



<i>Psidium guajava</i>	Hawaii, USA	dor	42	2.9	100.0	2.86*	42.0	88.0		30.8	H
<i>Mangifera indica</i>	Tanzania	dor	10	2	100.0	2.00	10.0	64.0		32.0	M
<i>Musa sp.</i>	Kenya	inv	262	5.2	36.4	1.89*	95.0*	66.0		34.9	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0* <sup>8</sup>	20.0	5.20*	20.0	182.0*	1.82	35.0	V
<i>Terminalia catappa</i>	Hawaii, USA	dor	600	15.2	100.0	15.20*	600.0	534.0		35.1	H
<i>Eugenia uniflora</i>	Hawaii, USA	dor	70	0.34	100.0	0.34*	70.0	12.0		35.3	H
<i>Citrus reticulata</i>	Kenya	inv	46	4.8	10.3	0.49*	5.0*	18.0		36.4	R
<i>Citrus sinensis</i>	Kenya	inv	31	2.6	12.3	0.32*	4.0*	12.0		37.5	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0	5.0	1.30*	5.0	50.0*	0.50	38.5	V
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0	34.0	8.84*	34.0	352.0*	3.52	39.8	V
<i>Citrus reticulata</i>	Hawaii, USA	dor	52	3.4	100.0	3.41*	52.0	146.0		42.8	H
<i>Eugenia malaccensis</i>	Hawaii, USA	dor	7	0.3	100.0	0.34*	7.0	15.0		43.6	H
<i>Citrus reticulata</i>	Kenya	inv	40	4.3	12.5	0.54*	5.0*	24.0		44.7	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	8.0	2.08*	8.0	94.0*	0.94	45.2	V
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	92	30.8	55.8*	17.19*	51.0*	803.0		46.7	E
<i>Mangifera indica</i>	Tanzania	dor	10	1.9	100.0	1.90	10.0	92.0		48.4	M
<i>Musa sp.</i>	Kenya	inv	145	9.3	12.1	1.13*	18.0*	55.0		48.9	R
<i>Psidium guajava</i>	Kenya	inv	32	3.6	34.4	1.24*	11.0*	61.0		49.3	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	21.4	5.56*	21.4	286.0*	2.86	51.4	V
<i>Terminalia catappa</i>	Hawaii, USA	dor	1439	37.1	100.0	37.10*	1439.0	2215.0		59.7	H
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	4.0	1.04*	4.0	64.0*	0.64	61.5	V
<i>Psidium cattleianum</i>	Hawaii, USA	dor	180	3.2	100.0	3.20*	180.0	197.0		61.6	H
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	454	148.6	57.5	85.45*	261.0*	5830.0		68.2	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	54.0	14.04*	54.0	1018.0*	10.18	72.5	V
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	204	72.9	40.2	29.31*	82.0*	2141.0		73.1	R
<i>Musa sp.</i>	Kenya	inv	132	2.8	10.2	0.29*	13.0*	21.0		73.5	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	2.0	0.52*	2.0	42.0*	0.42	80.8	V
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	6.0	1.56*	6.0	126.0*	1.26	80.8	V
<i>Eugenia uniflora</i>	Hawaii, USA	dor	200	0.9	100.0	0.94*	200.0	78.0		83.4	H
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	94.0	24.44*	94.0	2054.0*	20.54	84.0	V
<i>Terminalia catappa</i>	Kenya	inv	16	0.4	18.8	0.08*	3.0*	7.0		93.1	R
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	51	17.5	63.9*	11.18*	33.0*	1056.0		94.4	E
<i>Annona cherimola</i>	Kenya	inv	35	0.7	31.4	0.22*	11.0*	21.0		95.5	R
<i>Sclerocarya birrea</i>	Kenya	inv	154	3.1	41.3	1.28*	64.0*	123.0		96.1	R
<i>Psidium guajava</i>	Kenya	inv	31	3.1	12.0	0.37*	4.0*	36.0		96.8	R

<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	18.0	4.68*	18.0	466.0*	4.66	99.6	V
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	14.0	3.64*	14.0	368.0*	3.68	101.1	V
<i>Citrus limon</i>	Kenya	inv	21	3	28.6	0.86*	6.0*	97.0		113.1	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	24.0	6.24*	24.0	710.0*	7.10	113.8	V
<i>Annona cherimola</i>	Kenya	inv	86	2.2	23.5	0.52*	20.0*	62.0		119.9	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	20.0	5.20*	20.0	644.0*	6.44	123.8	V
<i>Clausena lansium</i>	Hawaii, USA	dor	170	1.7	100.0	1.66*	170.0	209.0		125.9	H
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	12.0	3.12*	12.0	398.0*	3.98	127.6	V
<i>Eugenia uniflora</i>	Hawaii, USA	dor	62	0.23	100.0	0.23*	62.0	31.0		133.0	H
<i>Psidium cattleianum</i>	Hawaii, USA	dor	521	5.0	100.0	5.01*	521.0	705.0		140.7	H
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	206	65.9	64.4	42.44*	133.0*	6012.0		141.7	R
<i>Eugenia jambos</i>	Hawaii, USA	dor	54	0.3	100.0	0.32*	54.0	47.0		146.4	H
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0*	38.0	9.88*	38.0	1640.0*	16.40	166.0	V
<i>Annona cherimola</i>	Kenya	inv	6	0.6	50.0	0.30*	3.0*	51.0		170.0	R
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	43	13.2	50.8	6.71*	22.0*	1204.0		179.6	R
<i>Mangifera indica</i>	India	dor	100	26.0	6.0	1.56*	6.0	322.0*	3.22	206.4	V
<i>Eugenia uniflora</i>	Hawaii, USA	dor	140	0.5	100.0	0.51*	140.0	106.0		207.8	H
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	12458	5.3	100.0	5.25*	12458.0	1103.0		210.1	H
<i>Mangifera indica</i>	Kenya	inv	119	38.4	59.7	22.92*	71.0*	5004.0		218.3	R
<i>Psidium cattleianum</i>	Hawaii, USA	dor	65	0.5	100.0	0.45*	65.0	112.0		246.7	H
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	520	0.2	100.0	0.22*	520.0	56.0		251.1	H
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	4165	1.6	100.0	1.55*	4165.0	416.0		268.4	H
<i>Cordia myxa</i>	Kenya	inv	33	0.6	6.1	0.04*	2.0*	10.0		273.2	R
<i>Terminalia catappa</i>	Kenya	inv	121	3.6	35.2	1.27*	43.0*	443.0		349.6	R
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	1866	0.8	100.0	0.76*	1866.0	268.0		352.6	H
<i>Annona cherimola</i>	Kenya	inv	40	1.1	15.0	0.17*	6.0*	59.0		357.6	R
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	3620	1.9	100.0	1.86*	3620.0	737.0		396.2	H
<i>Musa sp.</i>	Kenya	inv	9	0.9	33.3	0.30*	3.0*	123.0		410.4	R
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	11301	4.8	100.0	4.76*	11301.0	2353.0		494.3	H
<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	1544	1.1	100.0	1.05*	1544.0	552.0		525.7	H
<i>Sclerocarya birrea</i>	Kenya	inv	127	2.5	36.2	0.91*	46.0*	597.0		659.7	R
<i>Terminalia catappa</i>	Kenya	inv	92	3.2	83.9	2.68*	77.0*	2089.0		778.1	R
<i>Sorindeia</i>	Kenya	inv	108	0.1	1.0	0.00*	1.0*	1.0		1000.0	R
<i>madagascariensis</i>											

<i>Murraya paniculata</i>	Hawaii, USA	dor	4547	1.8	100.0	1.77*	4547.0	2224.0	1256.5	H
									Average no. of FF /kg	132.54
									Fruit wight (g)/FF	7.54

<sup>1</sup> 복합종에 속하는 오리엔탈과실과리 종은 다음과 같이 표기함; dor = *B. dorsalis*, inv = *B. invadens*

<sup>2</sup> (과실 중량 (g)) \* (과실 개수) /1000

<sup>3</sup> (총 과실중량) \* (과실 감염율 (%)) / 100

<sup>4</sup> (과실 개수) \* (과실 감염율 (%))

<sup>5</sup> (과실 개수) \* (과실 당 우화수)

<sup>6</sup> (감염 과실 당 우화수) / (감염 과실 중량 (kg))

<sup>7</sup> 인용문헌 출처; H: Harris and Lee, 1987, V: Veghese et al., 2002, M: Mwatawala et al., 2004, E: Ekesi et al., 2006, R: Rwonushana et al., 2008

<sup>8</sup> 타 망고 조사 데이터로부터 추정함

\* 문헌에 언급된 것이 아니고 수식에 의해 계산된 값들

## 제6장 금지급 과실파리 종별 예찰 매뉴얼

### 가. 오리엔탈과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

(1) 제주지역에서 기주식물의 분포특성을 반영한 오리엔탈과실파리의 개체군 수립 가능성 평가 : 별도 작성

(2) CLIMEX 모형을 이용한 오리엔탈과실파리의 국내 기후정착적합도 평가 : 별도작성

(3) 오리엔탈과실파리 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

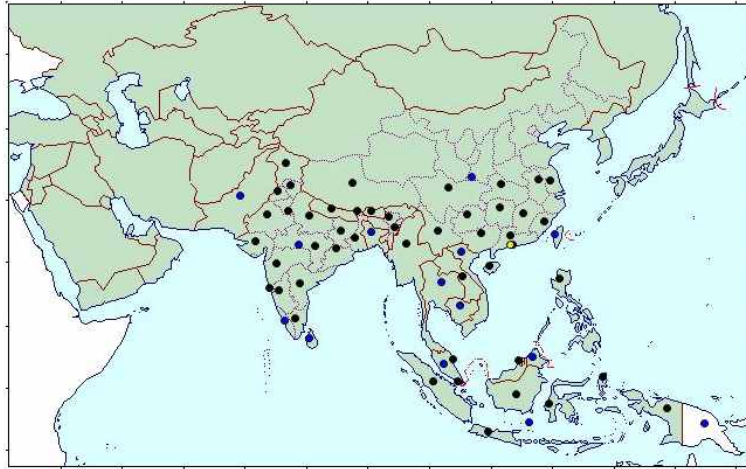
(가) 오리엔탈과실파리의 생활사(자료출처: 미농무부 오리엔탈과실파리 대응계획, 1989)

교미한 암컷은 하루에 136 개 정도의 알을 산란할 수 있으며, 각 산란 장소에 10~100 개의 알을 놓게 된다. 알은 부화하는데 24 시간 정도 소요될 수 있으나 저온에서 20 일 이상 걸릴 수 있다. 유충 단계는 3령을 거치며, 온도에 따라 6~35 일정도 지속될 수 있다. 적정온도 27℃ 및 습도 70% 조건하에 유충기는 6~7 일정도로 짧아질 수 있다. 과실이 지표면에 낙하한 후 3령충은 튀어 오름으로써 과실에서 탈출할 수 있다. 유충은 5~13 cm 깊이의 토양 속에서 용화한다. 용화를 위한 적당한 토양조건을 탐색하기 위하여 유충은 수평으로 반경 90 cm 정도 이동할 수 있다. 번데기 시기는 대부분 10~12 일 소요되지만 심각한 저온에 의해 120 일(휴면기)까지 확장되어 월동하게 된다. 우화한 암컷은 8~12 일의 산란전기간(preoviposition period)이 필요하다. 성충은 우화 후에 낮이 약 9 시간 이상씩 유지되는 동시에 적정온도 25~29℃가 확보된다면, 5~6일 이후에 교미할 수 있다. 성충은 대부분 약 1~3개월 생존하지만, 시원한 산악지대에서는 1년 동안 생존할 수 있다. 2 주에 걸쳐 평균온도가 12.78℃ 이하이면 생식기관이 성숙해 있다 하더라도 생식적으로 활성화되지 않는다. 2주간 평균 온도가 36.67℃ 이상이면 성충 활동이 억제되며 높은 치사율을 초래한다. 이 종은 서리 또는 경미하게 눈이 내려도 생존할 수 있다.

오리엔탈과실파리의 이동성을 살펴보면 다음과 같다. 이들은 기주를 찾게 되면 안주하는 경향을 보이며 기주 주변으로 평균 325 m의 반경으로 최대 약 590 m까지의 활동 영역을 갖게 된다. 그러나 산란할 기주 과실이 없는 경우, 미성숙 성충은 4.8 km 이상의 이동력을 보이게 된다. 수면 위 비행 경우 6.4 km 정도 이동이 가능한 것으로 관찰되었다. 일반적으로 우화 후 2 일째 활동의 정점을 이룬다. 일일 활동 리듬을 보이는데, 섭식활동은 이른 아침 경에 이뤄지고 교미는 해가 질 때 이뤄져 일몰 전 약 15 분 동안이 최성기이다.

(나) 오리엔탈과실파리의 분포(자료출처: <http://www.cabi.org/cpc>, 2016)

**아시아:** 방글라데시, 부탄, 브루나이, 다루살람, 캄보디아, 중국(안후이성, Chongqing, Fujian, Guangdong, Guangxi, Guizhou, Hainan, Hong Kong, Hubei, Hunan, Jiangsu, Jiangxi, Macau, Shanghai, Sichuan, Tibet, Yunnan), 크리스마스섬(인도양), 인도(Andaman and Nicobar Islands, Andhra Pradesh, Assam, Bihar, Delhi, Goa, Gujarat, Himachal Pradesh, Indian Punjab, Jammu and Kashmir, Karnataka, Kerala, Madhya Pradesh, Maharashtra, Manipur, Odisha, Rajasthan, Sikkim, Tamil Nadu, Uttar Pradesh, Uttarakhand, West Bengal), 인도네시아(Irian Jaya, Java, Kalimantan, Nusa Tenggara, Sulawesi, Sumatra), 일본(류큐 열도), 라오스, 말레이시아(말레이반도, Sabah), 네팔, 파키스탄, 필리핀, 싱가포르, 스리랑카, 대만, 태국, 베트남



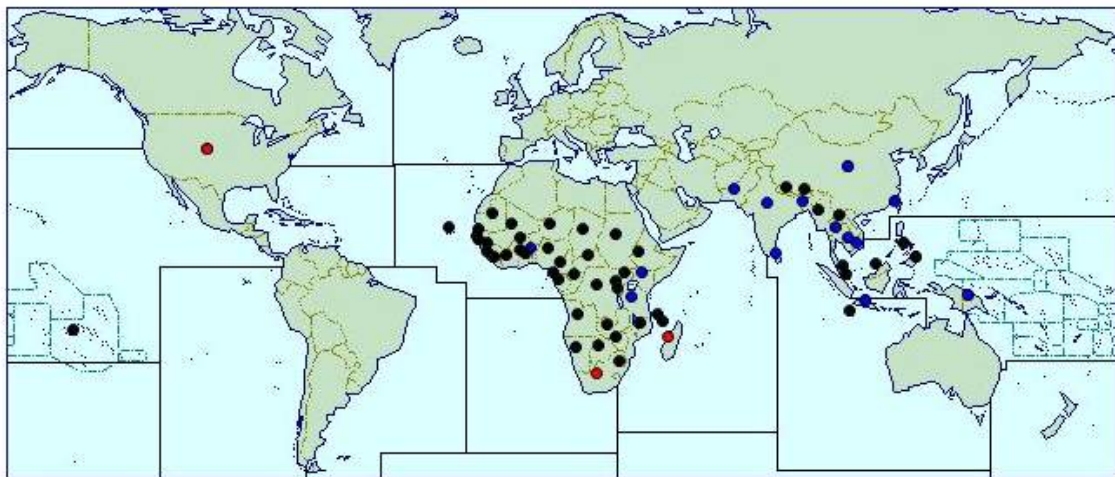
(자료출처: <http://www.cabi.org/cpc/datasheet/17685>)

**아프리카:** 앙골라, 베냉, 보츠와나, 부르키나파소, 부룬디, 카메룬, 카보베르데, 중앙아프리카 공화국, 차드, 코모로, 콩고, 코트디부아르, 적도 기니, 에티오피아, 가봉, 감비아, 가나, 기니, 기니비사우, 케냐, 라이베리아, 마다가스카르, 말리, 모리타니아, 모리셔스, 마요트 섬, 모잠비크, 나미비아, 니제르, 나이지리아, 르완다, 세네갈, 시에라리온, 남아프리카공화국, 수단, 스와질란드, 탄자니아, 토고, 우간다, 잠비아, 짐바브웨

**북아메리카:** 미국(Hawaii)

**남아메리카:** 칠레, 프랑스령 기아나, 수리남

**오세아니아:** 오스트레일리아(북부 지역, 퀸즐랜드, 빅토리아), 쿡 제도, 프랑스령 폴리네시아, 괌, 미크로네시아연방 공화국, 나우루, 뉴질랜드, 팔라우, 파푸아뉴기니



(자료출처: <http://www.cabi.org/cpc/datasheet/17685>)

(다) 오리엔탈과실파리의 기주

① 기주 목록 (자료출처: <http://www.cabi.org/cpc>, 2016)

여러 종류의 과수인 파파야, 오렌지, 사과, 망고, 바나나, 아보카도, 복숭아, 자두, 구아바, 배, 토마토 등에서 발생한다. 현재까지 알려진 기주 목록은 다음과 같다(\*: 야생기주, \*\*: 야생

기주 여부가 알려지지 않음).

**Agavaceae** (용설란아과): *Dracaena steudneri*\*

**Alangiaceae**: *Alangium chinense*\*, *Alangium salviifolium*\*

**Amaryllidaceae** (수선화과): *Crinum asiaticum*\*

**Anacardiaceae** (웃나무과): *Anacardium occidentale* (cashew nut), *Bouea macrophylla*, *Bouea oppositifolia*, *Holigarna kurzii*\*, *Mangifera caesia* (binjai), *Mangifera foetida* (bachang), *Mangifera griffithii*, *Mangifera indica* (mango), *Mangifera laurina*, *Mangifera odorata* (kurwini mango), *Sclerocarya birrea* (marula), *Sorindeia madagascariensis*\*, *Spondias dulcis* (otaheite apple), *Spondias mombin* (hog plum), *Spondias pinnata*, *Spondias purpurea* (red mombin)

**Annonaceae** (포포나무과): *Annona cherimola* (cherimoya), *Annona glabra* (pond apple), *Annona macrophyllata*, *Annona montana*, *Annona muricata* (soursop), *Annona reticulata* (bullock's heart), *Annona senegalensis* (wild custard apple), *Annona squamosa* (sugar apple), *Artabotrys siamensis*\*, *Cananga odorata* (perfume tree)\*, *Desmos chinensis*\*, *Mitrephora teysmannii*, *Polyalthia longifolia*\*, *Polyalthia simiarum*\*, *Rollinia pulchrinervis*, *Uvaria cordata*\*, *Uvaria grandiflora*\*

**Apocynaceae** (협죽도과): *Carissa carandas* (caranda (plum))\* , *Carissa spinarum*\*, *Landolphia*\*, *Ochrosia*\*, *Saba senegalensis*\*, *Thevetia peruviana* (exile tree)\*, *Willughbeia edulis*

**Arecaceae** (종려과): *Areca catechu* (betelnut palm), *Arenga pinnata* (sugar palm)\*, *Arenga westerhoutii*\*, *Borassus flabellifer* (toddy palm), *Caryota mitis*\*, *Veitchia merrillii* (christmas palm)\*

**Boraginaceae** (지치과): *Cordia alba*\*, *Cordia myxa* (sebesten)\*, *Ehretia microphylla*\*

**Burseraceae** (감람과): *Garuga floribunda* (garuga)\*

**Cactaceae** (선인장과): *Hylocereus undatus* (dragon fruit), *Pereskia grandifolia*\*

**Capparaceae** (카파리스과): *Capparis sepiaria* (indian caper)\*, *Maerua duchesnei*\*

**Caprifoliaceae** (인동과): *Sambucus javanica*\*

**Caricaceae** (파파야과): *Carica papaya* (pawpaw)

**Celastraceae** (노박덩굴과): *Siphonodon*\*

**Chrysobalanaceae** (크리소발라누스과): *Parinari anamense*\*

**Clusiaceae** (클루시아과): *Calophyllum inophyllum* (Alexandrian laurel)\*, *Garcinia atroviridis*, *Garcinia cowa*, *Garcinia dioica*, *Garcinia dulcis*, *Garcinia griffithii*\*, *Garcinia hombroniana*\*, *Garcinia mangostana* (mangosteen), *Garcinia mannii*\*, *Garcinia prainiana*, *Garcinia speciosa*\*, *Garcinia xanthochymus*, *Mammea siamensis*\*

**Combretaceae** (사군자과): *Terminalia arenicola*\*, *Terminalia catappa* (Singapore almond)\*, *Terminalia citrina*\*

**Convolvulaceae** (메꽃과): *Erycibe subspicata*\*, *Merremia vitifolia*\*

**Cucurbitaceae** (박과): *Citrullus colocynthis* (colocynth), *Citrullus lanatus* (watermelon), *Coccinia grandis* (scarlet-fruited ivy gourd)\*, *Cucumis ficifolius*\*, *Cucumis melo* (melon), *Cucumis sativus* (cucumber), *Cucurbita maxima* (giant pumpkin), *Cucurbita pepo*

(ornamental gourd), *Gymnopetalum scabrum*\*, *Lagenaria siceraria* (bottle gourd), *Momordica charantia* (bitter gourd), *Trichosanthes ovigera*, *Zehneria wallichii*\*

**Dilleniaceae** (오이과과): *Dillenia obovata* (Burma simpoh)\*

**Ebenaceae** (감나무과): *Diospyros areolata*\*, *Diospyros blancoi* (mabolo), *Diospyros castanea*\*, *Diospyros diepenhorstii*\*, *Diospyros kaki* (persimmon), *Diospyros malabarica*\*, *Diospyros mollis*\*, *Diospyros roxburghii*\*

**Elaeocarpaceae** (담팔수과): *Elaeocarpus hygrophilus*

**Euphorbiaceae** (대극과): *Antidesma ghaesembilla* (black currant tree)\*, *Aporosa villosa*\*, *Baccaurea motleyana*, *Baccaurea racemosa*, *Baccaurea ramiflora*, *Balakata baccata*\*, *Breynia racemosa*\*, *Bridelia stipularis*\*, *Excoecaria agallocha*\*, *Glochidion littorale*\*, *Sauropus androgynus*, *Shirakiopsis indica*\*

**Fabaceae** (콩과): *Adenantha pavonina* (red-bead tree)\*, *Azelia xylocarpa*\*, *Cordyla africana*\*, *Inocarpus fagifer*, *Parkia speciosa*, *Phaseolus vulgaris* (common bean)

**Fagaceae** (참나무과): *Castanopsis* (evergreen chinkapin)\*

**Flacourtiaceae**: *Dovyalis hebecarpa* (ketembilla), *Flacourtia indica* (governor's plum), *Flacourtia rukam* (rukam)

**Hanguanaceae**: *Hanguana malayana*\*

**Irvingiaceae** (아프리카망고과): *Irvingia gabonensis* (wild mango), *Irvingia malayana*\*

**Lamiaceae** (꿀풀과): *Callicarpa longifolia*\*, *Gmelina elliptica*\*, *Gmelina philippensis*\*, *Premna serratifolia*\*

**Lauraceae** (녹나무과): *Litsea glutinosa* (indian laurel)\*, *Litsea salicifolia*\*, *Persea americana* (avocado)

**Lecythidaceae** (오예과): *Barringtonia edulis*, *Careya arborea* (tummy wood)\*

**Loganiaceae** (마전과): *Fagraea ceilanica*\*

**Malpighiaceae** (말피기과): *Malpighia emarginata*, *Malpighia glabra* (acerola)

**Meliaceae** (멜구슬나무과): *Azadirachta excelsa*\*, *Chukrasia tabularis* (Chittagong wood)\*, *Heynea trijuga*\*, *Lansium domesticum* (langsat), *Sandoricum koetjape* (santol)

**Menispermaceae** (새모래덩굴과): *Fibraurea tinctoria*\*

**Moraceae** (뽕나무과): *Artocarpus altilis* (breadfruit), *Artocarpus elasticus*, *Artocarpus heterophyllus* (jackfruit), *Artocarpus integer* (champedak), *Artocarpus lacucha* (monkey jack), *Artocarpus lanceifolius*, *Artocarpus nitidus*, *Artocarpus odoratissimus*, *Artocarpus rigidus*, *Artocarpus sericicarpus*, *Ficus auriculata*\*, *Ficus benjamina* (weeping fig)\*, *Ficus chartacea*\*, *Ficus fistulosa*\*, *Ficus hirta*\*, *Ficus hispida*\*, *Ficus microcarpa* (Indian laurel tree)\*, *Ficus obpyramidiata*\*, *Ficus ottoniifolia*\*, *Ficus racemosa* (cluster tree), *Ficus religiosa* (sacred fig tree)\*, *Ficus sycomorus* (sycamore fig), *Maclura cochinchinensis*, *Morus alba* (mora), *Morus nigra* (black mulberry), *Streblus asper*\*

**Musaceae** (파초과): *Musa* (banana), *Musa acuminata* (wild banana), *Musa acuminata* (wild banana)\*, *Musa balbisiana*\*, *Musa troglodytarum*, *Musa x paradisiaca* (plantain)

**Myristicaceae** (육두구과): *Knema globularia*\*

**Myrtaceae** (도금양과): *Eugenia reinwardtiana*, *Eugenia uniflora* (Surinam cherry),

*Myrciaria cauliflora* (jaboticaba), *Psidium cattleianum* (strawberry guava), *Psidium guajava* (guava), *Rhodomyrtus tomentosa* (Downy rose-myrtle), *Syzygium aqueum* (watery rose-apple), *Syzygium aromaticum* (clove), *Syzygium borneense*\*, *Syzygium cumini* (black plum), *Syzygium formosanum*\*, *Syzygium grande* (sea apple)\*, *Syzygium jambos* (rose apple), *Syzygium lineatum*, *Syzygium malaccense* (malay-apple), *Syzygium megacarpum*, *Syzygium nervosum*, *Syzygium samarangense* (water apple)

**Olacaceae** (철청수과): *Schoepfia fragrans*\*, *Ximenia americana* (Hog plum), *Chionanthus parkinsonii*\*, *Myxopyrum smilacifolium*\*

**Oxalidaceae** (괘이밥과): *Averrhoa bilimbi* (blimbe), *Averrhoa carambola* (carambola)

**Passifloraceae** (시계꽃과): *Passiflora edulis* (passionfruit), *Passiflora foetida* (red fruit passion flower)\*, *Passiflora laurifolia*, *Passiflora quadrangularis* (giant granadilla), *Passiflora suberosa* (corksystem passionflower)\*

**Phyllanthaceae** (여우주머니과): *Flueggea virosa*

**Polygalaceae** (원지과): *Xanthophyllum flavescens*\*

**Primulaceae** (앵초과): *Ardisia crenata* (coral berry)\*

**Punicaceae** (석류나무과): *Punica granatum* (pomegranate)

**Rhamnaceae** (갈매나무과): *Ziziphus jujuba* (common jujube), *Ziziphus mauritiana* (jujube), *Ziziphus nummularia* (lotebush), *Ziziphus oenoplia*\*

**Rhizophoraceae** (홍수과): *Rhizophora* (mangrove)\*

**Rosaceae** (장미과): *Eriobotrya japonica* (loquat), *Malus domestica* (apple), *Prunus armeniaca* (apricot), *Prunus avium* (sweet cherry), *Prunus cerasus* (sour cherry), *Prunus domestica* (plum), *Prunus mume* (Japanese apricot tree), *Prunus persica* (peach), *Prunus salicina* (Japanese plum), *Pyrus communis* (European pear), *Pyrus pyrifolia* (Oriental pear tree)

**Rubiaceae** (꼭두서니과): *Breonia chinensis*\*, *Coffea arabica* (arabica coffee), *Coffea canephora* (robusta coffee), *Ixora javanica*\*, *Ixora macrothyrsa*\*, *Morinda citrifolia* (Indian mulberry), *Morinda coreia*\*, *Morinda umbellata*\*, *Nauclea latifolia* (pin cushion tree)\*, *Nauclea orientalis*\*, *Neonauclea purpurea*\*, *Ochreinauclea maingayi*

**Rutaceae** (운향과): *Casimiroa edulis* (white sapote), *Citrofortunella mitis*, *Citrus aurantiifolia* (lime), *Citrus aurantium* (sour orange), *Citrus hystrix* (mauritus bitter orange), *Citrus jambhiri* (rough lemon), *Citrus latifolia* (tahiti lime), *Citrus limon* (lemon), *Citrus maxima* (pummelo), *Citrus reticulata* (mandarin), *Citrus sinensis* (navel orange), *Citrus swinglei*, *Citrus x paradisi* (grapefruit), *Clausena lansium* (wampi), *Fortunella japonica* (round kumquat), *Fortunella margarita* (oval kumquat), *Glycosmis pentaphylla*, *Murraya paniculata* (orange jessamine)\*, *Poncirus trifoliata* (Trifoliate orange), *Triphasia trifolia* (limeberry)

**Sapindaceae** (무환자나무과): *Blighia sapida* (Akee apple), *Dimocarpus longan* (longan tree), *Lepisanthes fruticosa*, *Lepisanthes rubiginosa*\*, *Lepisanthes tetraphylla*\*, *Litchi chinensis* (lichi)\*\*, *Nephelium lappaceum* (rambutan), *Pometia pinnata* (fijian longan)

**Sapotaceae** (산람과): *Chrysophyllum cainito* (caimito), *Manilkara zapota* (sapodilla),



*Mimusops elengi* (spanish cherry), *Palaquium* (nyatoh)\*, *Palaquium maingayi*\*, *Planchonella*\*, *Planchonella duclitan*\*, *Pouteria caimito*, *Pouteria campechiana* (canistel), *Vitellaria paradoxa* (shea tree)

**Solanaceae** (가지과): *Capsicum annuum* (bell pepper), *Capsicum frutescens* (chilli), *Physalis angulata* (cutleaf groundcherry), *Solanum aethiopicum* (african scarlet eggplant), *Solanum americanum*, *Solanum anguivi*, *Solanum capsicoides* (cockroach berry)\*, *Solanum hazenii*\*, *Solanum incanum* (grey bitter-apple)\*, *Solanum lycopersicum* (tomato), *Solanum melongena* (aubergine), *Solanum rudepannum*\*, *Solanum sodomium*\*, *Solanum stramonifolium*, *Solanum torvum* (turkey berry)\*, *Solanum trilobatum*\*

**Sterculiaceae** (벽오동과): *Theobroma cacao* (cocoa)

**Tiliaceae** (아욱과): *Microcos tomentosa*, *Muntingia calabura* (Jamaica cherry)

**Ulmaceae** (느릅나무과): *Celtis tetrandia*\*

**Vitaceae** (포도과): *Cissus repens*\*

**Zingiberaceae** (생강과): *Alpinia mutica*\*

② 우리나라에 알려진 기주 목록

제주도에 자생, 귀화 및 재배되는 식물 중 현재까지 알려진 오리엔탈과실파리의 기주는 다음과 같다.

(자료출처: 산림청 국가표준식물 목록)

	종분류	학명	국명
1		<i>Acca sellowiana</i> (O.Berg) Burret	셀로위아나아카
2	재배식물	<i>Anacardium occidentale</i> L.	옥시덴탈레아나카르디움
3	재배식물	<i>Anana scomosus</i> (L.) Merr.	파인애플
4	재배식물	<i>Annona cherimola</i> Mill.	케리몰라아노나
5	재배식물	<i>Annona muricata</i> L.	무리카타아노나
6	재배식물	<i>Annona squamosa</i> L.	스쿠아모사아노나
7	재배식물	<i>Ardisia crenata</i> 'Shirimen'	백량금 '시리멘'
8	재배식물	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	헤테로필루스아르토키르푸스
9	재배식물	<i>Averrhoa carambola</i> 'EllLin'	카람볼라아베로아 '엘린'
10	재배식물	<i>Bischofia javanica</i> Blume	자바니카비스코피아
11	재배식물	<i>Brugmansia xcandida</i> 'GrandMarnier'	'그랜드 마르니에'
12	재배식물	<i>Capsicum annuum</i> L.	고추
13	재배식물	<i>Carica papaya</i> L.	파파야
14	재배식물	<i>Caryota mitis</i> Lour.	공작야자
15	재배식물	<i>Cestrum nocturnum</i> L.	야래향
16	재배식물	<i>Citrus aurantium</i> L.	광굴
17	재배식물	<i>Citrus natsudaidai</i> Hayata	황금하귤
18	재배식물	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	당귤나무
19	재배식물	<i>Citrus sinensis</i> 'Washington'	워싱턴네이블올렌지
20	재배식물	<i>Citrus unshiu</i> S. Marcov.	귤
21	재배식물	<i>Clusia rosea</i> Jacq.	로세아클루시아
22	재배식물	<i>Coccoloba uvifera</i> L.	우비페라코콜로바
23	재배식물	<i>Cocos nucifera</i> L.	코코넛야자
24	재배식물	<i>Coffea arabica</i> L.	커피나무
25	재배식물	<i>Cucumis melo</i> var. <i>makuwa</i> Makino	참외
26	재배식물	<i>Cucumis sativus</i> L.	오이

27		<i>Diospyros kaki</i> 'Pendula'	처진감나무
28	재배식물	<i>Dracaena draco</i> L.	용혈수
29	재배식물	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	비파나무
30	재배식물	<i>Ficus benjamina</i> L.	벤자민고무
31	재배식물	<i>Ficus carica</i> L.	무화과나무
32	재배식물	<i>Ficus hirta</i> Vahl	자바고무
33	재배식물	<i>Ficus microcarpa</i> var. <i>crassifolia</i> (Shieh) J. C. Liao	크라시폴리아고무
34	재배식물	<i>Ficus pumila</i> L.	모람
35	재배식물	<i>Ficus religiosa</i> L.	인도보리수
36	재배식물	<i>Fortunella japonica</i> (Thunb.) Swingle	등근금감
37	재배식물	<i>Fortunella japonica</i> var. <i>margarita</i> (Swingle) Makino	금감
38	재배식물	<i>Fortunella margarita</i> Swingle	마르가리타금감
39	재배식물	<i>Fragaria ananassa</i> Duch.	딸기
40	재배식물	<i>Garcinia mangostana</i> L.	망고스타나복목
41	재배식물	<i>Juglans nigra</i> L.	흑호두
42	재배식물	<i>Juglans regia</i> L.	호두나무
43	재배식물	<i>Litchi chinensis</i> Sonn.	리치
44	재배식물	<i>Malus domestica</i> 'Maypole'	도메스티카꽃사과 '메이폴'
45	재배식물	<i>Mangifera indica</i> L.	인디카망기페라
46	재배식물	<i>Manilkara zapota</i> (L.) P. Royen	자포타마니카라
47	재배식물	<i>Momordica charantia</i> L.	여주
48	재배식물	<i>Morus alba</i> L.	뽕나무
49	재배식물	<i>Morus nigra</i> L.	니그라뽕나무
50	재배식물	<i>Murraya paniculata</i> (L.) Jack	파니쿨라타무르라이아
51	재배식물	<i>Musa acuminata</i> Colla	가는잎바나나
52	재배식물	<i>Musa paradisiaca</i> L.	바나나
53	재배식물	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	담배
54	재배식물	<i>Olea europaea</i> L.	올리브나무
55	재배식물	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	보검선인장
56	재배식물	<i>Passiflora edulis</i> Sims	에들리스시계꽃
57	재배식물	<i>Persea americana</i> Mill.	아보카도
58	재배식물	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	덩굴강낭콩
59	재배식물	<i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf.	탱자나무
60	재배식물	<i>Prunus armeniaca</i> L.	아르메니아카살구
61	재배식물	<i>Prunus avium</i> L.	양벚나무
62	재배식물	<i>Prunus campanulata</i> 'Superba'	캄파눌라타벚나무 '슈페르바'
63	재배식물	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	케라시페라자두
64	재배식물	<i>Prunus cerasus</i> L.	신양벚나무
65	재배식물	<i>Prunus domestica</i> L.	서양자두
66	재배식물	<i>Prunus mume</i> (Siebold) Siebold & Zucc.	매실나무
67	재배식물	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	복사나무
68	재배식물	<i>Prunus salicina</i> Lindl.	자두나무
69	재배식물	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	카틀레이아눔구아바
70	재배식물	<i>Psidium guajava</i> L.	구아바
71	재배식물	<i>Punica granatum</i> L.	석류나무
72	재배식물	<i>Pyrus communis</i> L.	서양배
73	재배식물	<i>Pyrus pashia</i> Buch.-Ham. ex D. Don	파스히아배나무
74	재배식물	<i>Pyrus pyrifolia</i> var. <i>culta</i> (Makino) Nakai	배나무
75	재배식물	<i>Solanum melongena</i> L.	가지
76	재배식물	<i>Solanum nigrum</i> L.	까마중
77	재배식물	<i>Solanum tuberosum</i> L.	감자
78	재배식물	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	암보스시지기움
79	재배식물	<i>Trichosanthes cucumerina</i> subsp. <i>anguina</i> (L.) Greb.	양귀나뭇오이
80	재배식물	<i>Vitis vinifera</i> L.	포도

81		<i>Zizyphus jujuba</i> var. <i>inermis</i> (Bunge) Rehder	대추나무
82	귀화식물	<i>Datura stramonium</i> L.	흰독말풀
83	귀화식물	<i>Nicandra physalodes</i> (L.) Gaertn.	페루파리
84	귀화식물	<i>Physalis angulata</i> L.	땅파리
85	귀화식물	<i>Solanum nigrum</i> var. <i>humile</i> (Bernh.exWilld.) C. Y. Wu & S. C. Huang	노랑까마중
86	자생식물	<i>Ardisia crenata</i> Sims	백량금
87	자생식물	<i>Cinnamomum yabunikkei</i> H. Ohba	생달나무
88	자생식물	<i>Crinum asiaticum</i> var. <i>japonicum</i> Baker	문주란
89	자생식물	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.	감나무
90	자생식물	<i>Ficus erecta</i> Thunb.	천선과나무
91	자생식물	<i>Ficus erecta</i> var. <i>sieboldii</i> (Miq.) King	좁은잎천선과
92	자생식물	<i>Machilus thunbergii</i> Siebold & Zucc.	후박나무
93	자생식물	<i>Morus alba</i> f. <i>pendula</i> Dippel	처진뽕나무
94	자생식물	<i>Neolitsea sericea</i> (Blume) Koidz.	참식나무
95	자생식물	<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm.f.) Nakai	돌배나무
96	자생식물	<i>Viburnum japonicum</i> (Thunb.) Sprengel	푸른가막살
97	자생식물	<i>Zizyphus jujuba</i> Mill.	뫓대추나무
98	자생식물	<i>Zizyphus jujuba</i> var. <i>hoonensis</i> (T. H. Chung) T. B. Lee	보은대추나무

표 3-1. 오리엔탈과실과리의 발육과 온도와의 관계 - 발육기간, 수명, 산란수

처리온도	발육기간			성충수명과 산란수				지역	기주식물	출처 (인용문헌)	실험대상
	알	유충	용	산란전	암컷수명	수컷수명	총산란				
15	5.05	27.84	29.14					태국	인공사료(구아바)	Danjuma et al., 2014	<i>B. papayae</i>
15	5.71	35.95	34.08					케냐	인공사료 당근기반	Rwomushana et al. 2008	<i>B. invadens</i>
18.5	3.2	11.1	24.9	48.4	179.8	196.0	952.1	하와이	파파야	Vargas et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
18.96	2.96	11.19	19.83					중국	인공사료	Jiajiao et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
20	2.7	12.16	13.19					태국	인공사료(구아바)	Danjuma et al., 2014	<i>B. papayae</i>
20	2.88	14.99	13.59					케냐	인공사료 당근기반	Rwomushana et al. 2008	<i>B. invadens</i>
23.18	1.96	9.49	12.9					중국	인공사료	Jiajiao et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
23.5	2.0	7.3	12.2	18.2	83.6	106.4	1296.4	하와이	파파야	Vargas et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
23.92	1.16	12.02	7.03		19.19	21.97		말레이	구아바	Noor et al., 2011	<i>B. papayae</i>
24.0	2.0	7.7	12.4	37.3	93.6	107.1	1243.9	하와이	파파야	Vargas et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
24.14	1.54	7.99	11.45					중국	인공사료	Jiajiao et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
25	1.53	7.13	9.73					태국	인공사료(구아바)	Danjuma et al., 2014	<i>B. papayae</i>
25	1.69	9.48	10.02					케냐	인공사료 당근기반	Rwomushana et al. 2008	<i>B. invadens</i>
27	1.22	6.56	8.4					태국	인공사료(구아바 기반)	Danjuma et al., 2014	<i>B. papayae</i>
28.08	1.17	6.83	8.7					중국	인공사료	Jiajiao et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
29.5	2.0	7.8	10.5	21.2	49.0	53.1	396.7	하와이	파파야	Vargas et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
30	1.11	6.51	7.16					태국	인공사료(구아바)	Danjuma et al., 2014	<i>B. papayae</i>
30	1.41	7.85	8.5					케냐	인공사료 당근기반	Rwomushana et al. 2008	<i>B. invadens</i>
31.02	1.04	6.04	8.35					중국	artificial	Jiajiao et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
33.56	1.0	6.38	사망					중국	artificial	Jiajiao et al., 2000	<i>B. dorsalis</i>
35	1.03	5.28	사망					태국	인공사료(구아바)	Danjuma et al., 2014	<i>B. papayae</i>
35	1.24	6.64	사망					케냐	인공사료 당근기반	Rwomushana et al. 2008	<i>B. invadens</i>

(라) 오리엔탈과실과리 발생세대 예찰 매뉴얼

곤충은 전형적인 변온동물로 온도에 따라 발육이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기온도에 의해 영향을 받으며, 다만 번데기 단계는 토양 내에서 경과함으로 토양온도의 지배를 받는다. 따라서 발육을 진행할 수 있는 최저온도의 개념인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온량을 적산하여(적산온도, degree-days, DD) 생활사의 경과를 예측할 수 있다. 지금까지 알려진 발육영점온도는 알 12°C, 유충 11°C, 용 14°C가 있으며(Robinson and Hooper, 1989),

발육영점온도와 유효적산온도는 해충의 온도에 따른 발육기간 자료를 이용하여 추정할 수 있다. 현재 이용 가능한 오리엔탈과실파리의 온도발육자료는 Vargas et al.(2000)이 사과야를 기주식물로 사용하여 보고한 자료가 존재한다.

표 3-2. 오리엔탈과실파리 발육단계별 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도

발육단계	Vargas 등(2000)		Jiajiao 등(2000)	
	발육영점온도(°C)	적산온도(DD)	발육영점온도(°C)	적산온도(DD)
알	9.2	30	12.8	19
유충	5.7	140	5.6	154
용	10.5	169	12.0	141
알-용	9.2	330	9.1	328
산란전기간	15.7	219	-	-

Vargas et al.(2000)의 자료를 이용하여 각 발육단계의 발육영점온도와 유효적산온도를 추정하면 표와 같으며, 참고로 Wu et al.(2000)의 보고 자료와 비교되어 있다. 이 자료는 포장에서 예찰 작업시 특정 발육단계의 발육완료를 추정하는데 활용할 수 있다. Vargas et al.(2000)의 자료를 우선적으로 따른다.

오리엔탈과실파리 박멸과정에서 최종발견 후 발생 세대수에 따라서 대응조치를 달리하게 되는데, 세대수는 세대기간(알-알기간) 완료에 필요한 발육영점온도와 유효적산온도를 이용하여 추정할 수 있다. 미국 USDA 매뉴얼에서는 발육영점온도 12.2°C와 적산온도 620 DD를 적용하고 있는데 원자료에 대한 문헌적 근거가 미약하다. 문헌적 근거가 있는 Vargas et al.(2000)의 자료를 기반으로 추정한 값은 각각 9.5°C와 717 DD로 이 매개변수를 세대수 추정에 우선적으로 사용할 수 있다.

표 3-3. 오리엔탈과실파리 세대기간(알-알) 발육영점온도 및 적산온도

모형의 종류	발육영점온도(°C)	적산온도(DD)	비고
미국 USDA 모형 (1989)	12.2	620	미국매뉴얼
Vargas 등(2000) 기반모형 (알-알 발육기간 모형)	9.5	717	신규작성

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대의 기상 자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고 및 최고온도를 갖고 있는 경우 평균온도((최고+최저)/2)로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며 따라서 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. Vargas 등(2000) 기반모형을 기준으로 했을 때 최종 발견일 다음날부터 적산온도를 계산하여 717 DD 되는 날이 1 세대가 완료되는 날이다(717 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여

간편하게 계산할 수 있다.



그림 3-1. 발생세대 추정기간에 겨울철이 포함되는 경우 조치방법

발생세대수 추정을 하는 동안 겨울철과 만나는 경우 적산온도가 누적되지 않기 때문에 진행되고 있는 세대가 다음연도로 넘어가서 완료될 수 있다. 이런 경우 현장조사 활동은 발생세대수가 아닌 평균 대기온도를 기준으로 결정한다. 오리엔탈과실파리 성충은 4°C 이하에서 활동이 불가능하다(Chen et al., 2006). 성충활동과 관련해서는 일평균대기온도 18°C 이상에서 장거리 이동이 가능하고, 최소 10°C 이상의 기상조건에서 페로몬 트랩에 포획된다(Ye and Liu, 2005). 오리엔탈과실파리 성충 모니터링은 성충이 비행할 수 있는 기상환경조건에서 가능하므로 성충비행활동 임계온도로 10°C를 적용하여 연속적으로 4일 이상 일평균대기온도가 10°C 이하로 내려가면 조사를 중단할 수 있다. 또한 연속적으로 4일 이상 일평균 대기온도가 10°C 이상 올라가면 조사를 재개한다. 조사를 재개한 경우 전년도(또는 이전)부터 이어서 계산한 적산온도에 근거한 세대수에 따라 현장조사의 의사를 결정한다.

겨울철 온도조건에 따라 월동발육단계의 사망률을 추정하여 대응조치에 참고할 수 있다(사용법 : 부록 2). 오리엔탈과실파리의 저온사망률과 관련하여 월 최저평균온도가 0°C에서 5°C 되는 지역에서 11월 15일, 12월 30일, 1월 6일 야외에 성충 또는 약충을 처리한 경우 100% 사망하였다(Han et al., 2011). 번데기의 경우는 일부 생존하는 개체가 있어 다른 발육단계보다 저온에 대한 내성이 높은 것으로 평가되고 있다. 오리엔탈과실파리 번데기의 기주식물별 온도에 따른 사망률 자료(Ren 등, 2006)를 이용하여 기주식물 및 온도별 100% 사망률에 필요한 일수를 추정할 수 있다.

표 3-4. 오리엔탈과실파리 번데기의 기주식물 및 온도별 100% 사망률에 필요한 일수

6°C					-3°C				
Guava	Star fruit	Orange	Tomato	Pumpkin	Guava	Star fruit	Orange	Tomato	Pumpkin
11	14	13	11	17	2.54	2.00	1.50	0.79	0.79

이 자료를 이용하여 오리엔탈과실과리(번데기 기준)가 100% 사망하는 데 필요한 최저온도의 연속출현일수를 구할 수 있다. 다음에 제공된 엑셀시트를 이용하여 계산하고 대응조치 운영시 참고자료로 활용한다.

**표 3-5.** 오리엔탈과실과리(번데기 기준)의 100% 사망에 필요한 최저온도 범위별 연속일수

온도(°C)범위	100% 사망에 필요한 일 수
5.0 이상	생존
4~5	8
3~4	6
1~3	4
-1~1	3
-6~-1	2
-6 이하	1

**나. 지중해과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼**

**(1) CLIMEX 모형 이용 지중해과실파리 기후적합도 평가**

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 기존값(Vera et al., 2002)을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

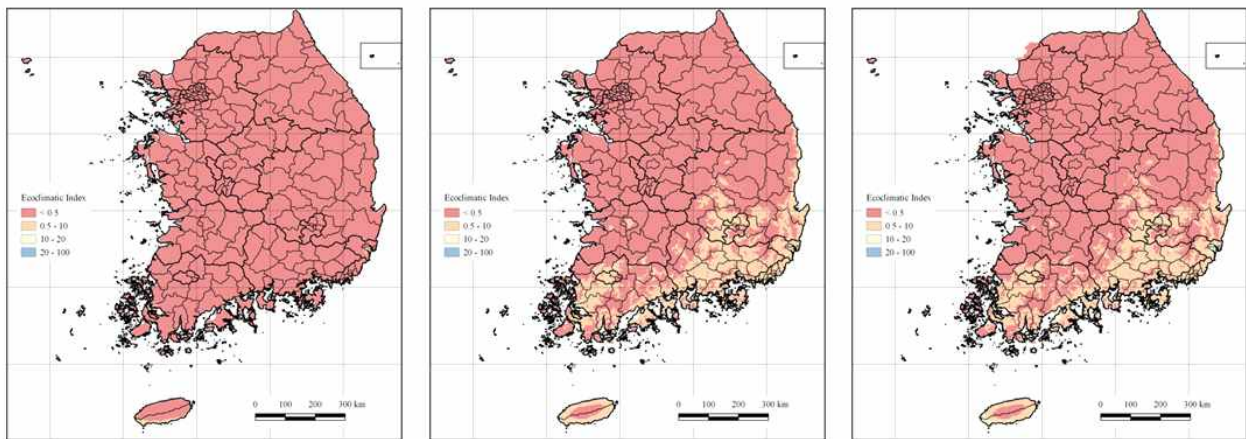
**<지중해과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>**

종류	매개변수	추정값	종류	매개변수	추정값
Moisture Index	SM0	0.1	Cold Stress	TTCS	-
	SM1	0.3		THCS	-
	SM2	1		DTCS	5
	SM3	1.5		DHCS	0.0015
Temperautre Index	DV0	12/10.1	Heat Stress	TTHS	39
	DV1	22		THHS	0.01
	DV2	30		DTHS	-
	DV3	35		DHHS	-
	PDD	622	Diapause	DPD0	-
Dry Stress	SMDS	0.02		DPT0	-
	HDS	0.05		DPT1	-
Wet Stress	SMWS	1.6	DPD	No/592.5	
	HWS	0.0015			

**2011-2020**

**2051-2060**

**2091-2100**



**RCP8.5 기후시나리오에 따른 지중해과실파리 기후적합 정착위험도 지도**

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable (적색), 0.50 - 9.99 = marginal (등색), 10 - 19.99 = suitable (베이지색), >20 = optimal (청색) and 100 = perfect)

**(2) 지중해과실파리 온도발육 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼**

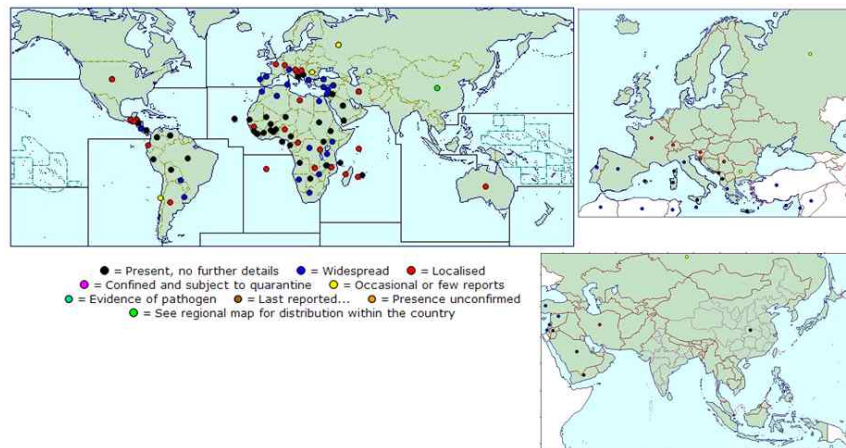
**(가) 지중해과실파리의 생활사**

암컷 성충은 산란관으로 기주 과실의 표피를 뚫고 1-10 개의 알을 산란하게 된다. 여기에 다른 암컷이 이 산란 구멍으로 산란을 할 수도 있다. 수백 개의 알이 하나의 공간에서 발견되

었다. 일반 환경에서 한 마리의 암컷은 300 이상의 알을 전 생애를 통해 산란한다. 62°F (17°C) 이하의 온도에서는 산란을 멈춘다. 알은 최적온도인 79°F (26°C)의 온도에서 2-3 일 만에 부화를 한다. 부화한 유충은 과육 속으로 터널을 뚫으며 6-10 일간 섭식활동을 보이게 된다. 일반적으로 과실은 유충이 발육하면서 또는 이후에 땅에 떨어진다. 3령 유충이 과실로부터 나와 땅속에서 용화를 진행하게 된다. 그러나 용화는 다른 장소에서도 일어날 수 있어 꼭 땅속에서 번데기를 형성하는 것은 아니다. 번데기로 부터 성충 우화는 79°F에서 6-15 일 경과하며 진행된다. 새로이 우화한 성충은 성적으로 성숙되지 않아 성적 성숙을 위해서는 단백질 먹이를 섭취해야 한다. 산란하기 전(前)기간은 최소 2 일부터 매우 다양한 기간 동안 진행되며 이는 환경 조건에 의존하게 된다. 섭식은 산란할 때 까지 진행된다. 따라서 양호한 조건에서 한 세대 기간은 18-33 일이 소요된다. 알, 유충 및 번데기 단계에서 발육은 50°F (10°C) 이하에서는 일어나지 않는다. 번데기 단계는 이 종이 먹이와 물 부족 및 극단 온도 조건과 같은 어려운 환경 조건 속에 견디게 한다.

(나) 지중해과실파리의 분포

지중해과실파리는 열대성 북아프리카 원산으로 연 4~5세대 발생하는 과실파리이다. 열대지방에서는 휴면없이 연중 발생하는 것으로 알려져 있다. 아프리카를 기원으로 지중해과실파리는 지중해 연안의 국가와 호주, 중미, 남미, 유럽, 하와이 및 여러 태평양 군도 나라들로 번졌다. 예를 들어, 1910년에 최초로 하와이 군도에서 발견된 지중해과실파리는 풍부한 산란 기주 과실로 인해 급속도로 번식하여 망고, 구아바, 아보카도, 파파야, 커피, 복숭아 그리고 감과 같은 작물의 수확량을 줄이고 질을 저하시켰다. 아시아 동남아 지역에서는 분포하지 않으며, 중국에 분포하는 것으로 알려져 있으나 자세한 분포구역은 알려져 있지 않다.



[그림] 지중해과실파리 분포도

Invasive Species Compendium, <http://www.cabi.org/ISC>

우리나라 기후대와는 다른 기후대에 주로 분포하지만 중국 및 러시아에서도 발생기록이 있고, 독일 등 북유럽에도 분포하기 때문에 국내 기후에 적응할 가능성이 있다.

(다) 지중해과실파리의 기주

지중해과실파리는 아프리카에서 중요한 경제적 피해를 입히는 해충이다. 지중해 국가에서는 특히 감귤과 복숭아에 피해를 입히는데, 과실에 썩음병을 전파하기 때문에 더 중요하다(Cayol et al., 1994).

과실의 피해도는 매우 높고 100% 피해에 도달할 수 있다(Fimiani, 1989; Fischer-Colbrie and Busch-Petersen, 1989). 중앙아메리카에서는 커피 작물에 피해는 5~15% 되는 것으로 추



정하고 있다. 뿐만 아니라, 딸기류는 성숙 전 낙과되므로 피해가 크다(Enkerlin et al., 1989).

① 기주 목록

지중해과실과리는 200 종류 이상의 서로 다른 과일과 채소를 가해하는 것으로 알려지고 있다. 알려진 기주는 Anacardiaceae, Annonaceae, Apocynaceae, Arecaceae, Cactaceae, Caricaceae, Clusiaceae, Combretaceae, Ebenaceae, Juglandaceae, Lauraceae, Lythraceae, Malpighiaceae, Malvaceae, Muntingiaceae, Myrtaceae, Passifloraceae, Rosaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Santalaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Solanaceae 그리고 Vitaceae 에 속한다.

② 우리나라에 알려진 기주 목록

과류, 고추, 사과, 복숭아 등 핵과류를 가해할 수 있다.

③ 수입 규제 기주

다음의 신선한 과일, 견과류, 채소 및 딸기류가 규제대상이다:

일반명	학명
껍질있는 아몬드	<i>Prunus dulcis</i> = <i>P. amygdalus</i>
사과	<i>Malus sylvestris</i>
살구	<i>Prunus armeniaca</i>
아보카도	<i>Persea americana</i>
흑 미로발란(Black Myrobalan)	<i>Terminalia chebula</i>
체리	<i>Prunus avium</i> , <i>P. cerasus</i>
시트론(Citrus citron)	<i>Citrus medica</i>
대추야자	<i>Phoenix dactylifera</i>
가지	<i>Solanum melongena</i> L.
무화과	<i>Ficus carica</i>
포도	<i>Vitis vinifera</i>
자몽	<i>Citrus paradisi</i>
구아바	<i>Psidium guajava</i>
감	<i>Diospyros khaki</i>
일본자두	<i>Prunus salicina</i>
키위	<i>Actinidia chinensis</i>
금귤	<i>Fortunella japonica</i>
레몬(상품명 가운데 유레카, 리스본 및 빌라프란카 품종은 제외)	<i>Citrus limon</i>
레몬(Meyer 품종)	<i>Citrus limon X reticulata</i>
레몬(Rough 품종)	<i>Citrus jambhiri</i>
라임(Sweet 품종)	<i>Citrus aurantiifolia</i>
비파	<i>Eriobotrya japonica</i>
홍귤	<i>Citrus reticulata</i>
망고	<i>Mangifera indica</i>
고광나무	<i>Murraya exotica</i>
산사과	<i>Syzygium malaccense</i> = <i>Eugenia malaccensis</i> )
큰잎카리사	<i>Carissa macrocarpa</i> , <i>Terminalia chebula</i>
천도복숭아	<i>Prunus persica</i>
올리브	<i>Olea europea</i>
부채선인장	<i>Optuntia spp.</i>
오렌지(calamondin)	<i>Citrus reticulata x Fortunella</i>
오렌지(Chinese)	<i>Fortunella japonica</i>
오렌지(king)	<i>Citrus reticulata x C. sinensis</i>
오렌지(sweet)	<i>Citrus sinensis</i>

오렌지(Unshu)	<i>Citrus reticulata var. Unshu</i>
파파야	<i>Carica papaya</i>
복숭아	<i>Prunus persica</i>
배	<i>Pyrus communis</i>
후추	<i>Capsicum annum, C. frutescens</i>
피조아	<i>Feijoa sellowiana</i>
자두	<i>Prunus americana</i>
자두(plum)	<i>Punica granatum</i>
자두(Prune)	<i>Prunus domestica</i>
포멜로(Shaddock)	<i>Citrus grandis</i>
마르멜로	<i>Cydonia oblonga</i>
로즈애플	<i>Syzyguim jambos = (Eugina jamos)</i>
광굴	<i>Citrus aurantium</i>
스페인체리(브라질자두)	<i>Eugenia dombeyi, E. brashilienis</i>
스트로베리 구아바	<i>Psidium cattleianum</i>
수리남 체리	<i>Eugenia uniflora</i>
토마토(분홍 및 적색 숙성)	<i>Lycopersicon esculentum</i>
껍질있는 호두	<i>Juglans spp.</i>
흰싸뻑뜨	<i>Casimiroa edulis</i>
황색 협죽도(Bestill)	<i>Thevetia peruviana</i>

- ◆ 위에 기술한 과일, 견과류, 채소 및 딸기류를 생산하는 작물의 배수 토양
- ◆ 이 이외의 생산물, 작물류 또는 이러한 것들을 운반하는 수단들로서 전문가가 지중해과실 파리의 전파 위험이 있다고 판단되는 것을 포함한다. 또한 이러한 의심 물체를 지나는 사람도 규제 대상이 된다.

(라) 지중해과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

① 발생세대수 추정

곤충은 전형적인 변온동물로 온도에 따라 발육이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기온도에 의해 영향을 받으며, 다만 번데기 단계는 토양 내에서 경과함으로 토양온도의 지배를 받는다. 따라서 발육을 진행할 수 있는 최저온도의 개념인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온량을 적산하여(적산온도, degree-days, DD) 생활사의 경과를 예측할 수 있다. 지금까지 알려진 발육영점 온도는 알 9.7°C, 유충 9.7°C, 용 13.0°C이며 용의 상한 온도는 35°C이다 (Robinson and Hooper, 1989).

발육영점온도와 유효적산온도는 해충의 온도에 따른 발육기간 자료를 이용하여 추정할 수 있다. 현재 이용 가능한 지중해과실파리의 온도발육자료는 다음 표 1과 같다.

표 1. 지중해과실파리의 발육과 온도와의 관계 - 발육기간, 수명, 산란수

평균 온도	발육기간			성충			생명표		자료출처
	알	유충	용	산란전	수명	총산란	$r_m$	$T$	
15	7.56	27.89	35.75						Ricalde et al. (2012)
15	7.06	26.69	36.51						Ricalde et al. (2012)
15	5.58	29.62	33.21						Ricalde et al. (2012)
15	7.8	21	35	20					Duyck and Quilici (2002)
18.5	4.0	10.2	19.1	37.4	115.9	422.7	0.051	88.6	Vargas et al. (2000)
20	3.27	11.51	15.21						Ricalde et al. (2012)
20	3.63	11.5	14.32						Ricalde et al. (2012)
20	3.8	11.78	15.15						Ricalde et al. (2012)
20	3.5	8	17	7					Duyck and Quilici (2002)
23.5	2.0	6.7	11.4	9.5	64.7	1036.9	0.137	40.7	Vargas et al. (2000)
24.0	2.0	6.5	11.7	14.9	75.0	706.2	0.120	42.9	Vargas et al. (2000)
25	2.39	9.53	9.43						Ricalde et al. (2012)
25	2.53	7.91	9.96						Ricalde et al. (2012)
25	2.27	7.2	9.57						Ricalde et al. (2012)
25	2.04	6	10	5					Duyck and Quilici (2002)
26						759.3			Carey et al. (1998)
29.5	2.0	6.3	10.6	8.4	39.7	535.2	0.092	33.5	Vargas et al. (2000)
30	2.21	7.42	7.85						Ricalde et al. (2012)
30	2.45	6.99	7.63						Ricalde et al. (2012)
30	2.26	6.86	7.67						Ricalde et al. (2012)
30	1.54	5	8	5					Duyck and Quilici (2002)
35				불가					Duyck and Quilici (2002)

\* 생명표 통계량 :  $r_m$  = 내적자연증가율,  $T$  = 세대기간(일)

기존 보고된 모든 자료를 종합하여 각 발육단계의 발육영점온도와 유효적산온도를 추정하면 표 2와 같다. 이 자료는 포장에서 예찰 작업시 특정 발육단계의 발육완료를 추정하는데 활용할 수 있다.

**표 2.** 지중해과실파리 발육단계별 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도

발육단계	온도발육 선형모형			발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)
	회귀식(y: 발육율, x: 온도)	df	r <sup>2</sup>		
알	$y = 0.02503x - 0.21778$	6	0.99	8.7	40.0
유충	$y = 0.00769x - 0.06103$	6	0.95	7.9	130.0
번데기	$y = 0.00673x - 0.07128$	6	0.99	10.6	148.7
알-알기간	$y = 0.00257x - 0.02605$	6	0.93	10.1	389.2
세대기간	$y = 0.00169x - 0.01903$	2	0.97	11.3	592.5

지중해과실파리 박멸과정에서 최종발견 후 발생 세대수에 따라서 대응조치를 달리하게 되는데, 세대수는 세대기간(알-알기간) 완료에 필요한 발육영점온도와 유효적산온도를 이용하여 추정할 수 있다. 미국 USDA 매뉴얼에서는 발육영점온도 9.12°C와 적산온도 622 DD를 적용하고 있는데 원자료에 대한 문헌적 근거가 미약하다. 문헌적 근거가 있는 기존자료를 기반으로 추정한 값은 생명표 통계량의 세대기간을 기준으로 했을 때 각각 11.3°C와 592.5 DD이다. 이 값은 평균세대기간을 나타내는 것으로 알-알기간의 세대기간보다 다소 길어질 수 있다. 알-알 세대기간은 가장 빨리 진행되는 세대의 출현을 예측하는데 적용할 수 있는데 각각 10.1°C와 389.2 DD이다. 이 매개변수를 세대수 추정에 우선적으로 사용할 수 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일 최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며 따라서 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 즉 최종 발견일 다음날부터 적산온도를 계산하여 592.5 DD 되는 날이 1 세대가 완료되는 날이다(592.5 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

겨울동안 조사 중지는 오리엔탈과실파리 의사결정 방법에 따른다. 단, 노지작물에서는 겨울동안 조사중지가 가능하지만 시설재배(특히 가온재배)의 작물은 상황에 따라 위험도를 평가하여 조사를 계속 실시한다.

② 월동사망률 추정

지중해과실파리 성충의 저온 치사온도는 Nyamukondiwa and Terblanche(2009)이 보고하였다(표 3). 근육기능이 마비되는 온도를 임계온도로 취급하였으므로 일부 회복이 가능하다. 성충은 연령에 무관하게 5.66°C 이하에서 활력을 완전히 잃고 사망에 도달할수 있었다. 따라서 성충의 내한성을 기준으로 볼 때 국내환경에서 성충은 월동하기 어려웠으므로 유충을 대상으로 하는 평가를 적용한다.

표 3. 성충 연령에 따른 치사 추정온도

구 분	성충연령(일)				
	2	5	9	14	28
온 도	5.96	6.32	6.28	5.66	6.53

\* 자료 : Nyamukondiwa and Terblanche(2009)

표 4. 지중해과실파리 유충의 저온 검역처리기준(온도별 ≈100% 사망에 필요한 일수)

온도	단위사망률	처리기간	기주식물(국가)	참고문헌
-0.6	0.08333	12	orange (South Africa)	MAFF, 1996
0.5	0.07143	14	orange (Israel)	MAFF, 1996
1	0.06250	16	orange (Australia)	MAFF, 1996
1.1	0.07143	14	all	APHIS-PPQ, 2006
1.5	0.06250	16	orange (Israel)	MAFF, 1996
1.67	0.06250	16	all	APHIS-PPQ, 2006
2	0.05882	17	orange (Spain)	MAFF, 1996
2.2	0.05556	18	all	APHIS-PPQ, 2006

유충의 사망(100%)에 필요한 일수 자료를 이용하여 온도(x)와 유충사망속도(y) 간의 관계를 분석하면  $y = -0.0093837 + 0.0769941x$ 으로 생존하한온도는 8.2°C, 사망에 필요한 저온총량은 106.6 DD가 된다.

이 자료를 이용하여 지중해과실파리(유충 기준)가 100% 사망하는 데 필요한 최저온도의 연속출현일수를 구할 수 있다. 다음에 제공된 엑셀시트를 이용하여 계산하고 대응조치 운영시 참고자료로 활용한다.

표 5. 지중해과실파리(유충기준)의 100% 사망에 필요한 최저온도 범위별 연속일수

온도범위	일사망률 (식1 적용)	생존일수	비 고
3.0<T	0.0	생존	생존으로 취급
T≤3.0	0.048848	20	
T≤1.0	0.067616	15	
T≤-1.0	0.086383	12	
T≤-2.0	0.095767	10	
T≤-5.0	0.123918	8	
T≤-7.0	0.142685	7	
T≤-9.0	0.161453	6	

**다. 퀴즐랜드과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼**

(1) CLIMEX 모형 이용 퀴즐랜드과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 기존값(Yonow and Sutherst, 1998)을 바탕으로 본 연구에서 추정된 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

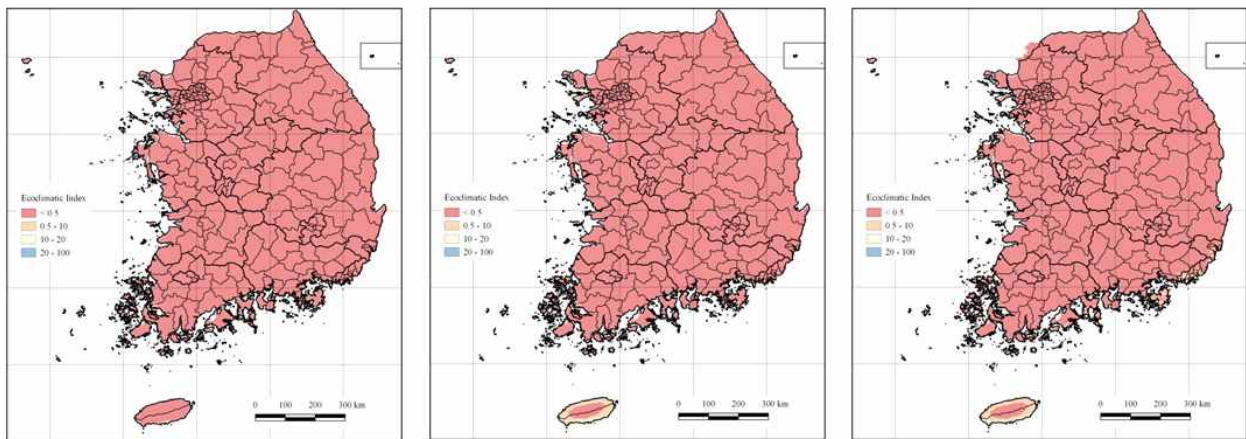
**<퀴즐랜드과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>**

종류	매개변수	추정값	종류	매개변수	추정값
Moisture Index	SM0	0.1	Cold Stress	TTCS	2
	SM1	0.5		THCS	0.1
	SM2	1.75		DTCS	20
	SM3	2		DHCS	0.00025
Temperautre Index	DV0	12	Heat Stress	TTHS	36
	DV1	25		THHS	0.005
	DV2	33		DTHS	or 0.4375
	DV3	36		DHHS	or 0.01
	PDD	380	Diapause	DPD0	-
Dry Stress	SMDS	0.1		DPT0	-
	HDS	0.005		DPT1	-
Wet Stress	SMWS	2	DPD	-	
	HWS	0.002			

**2011-2020**

**2051-2060**

**2091-2100**



**RCP8.5 기후시나리오에 따른 퀴즐랜드과실파리 기후적합 정착위험도 지도**

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable (적색), 0.50 - 9.99 = marginal (등색), 10 - 19.99 = suitable (베이지색), >20 = optimal (청색) and 100 = perfect)

(2) 퀴즐랜드과실파리 온도발육 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 퀴즐랜드과실파리의 생활사

교미한 퀴즐랜드과실파리 암컷은 산란하기 위해 성숙한 과일을 찾아 비행한다. 대부분의 기주에서는 다른 과실파리 유충이 없는 성숙한 과실이 산란에 가장 적합하다. 암컷은 과실 껍질 부위의 그늘진 쪽에 과피를 뚫고 최대 12 개까지의 (보통 4-5개) 알을 낳으며, 암컷 한 마리는

한평생 1,000 개까지의 알을 낳을 수 있다. 암컷은 4일 동안 적당한 기주를 찾지 못할 경우 적합하지 않은 기주에도 쉽게 산란하는데, 이는 난소 성숙이 생리적으로 조절되기 때문이다. 알은 2-3일 내에 부화하고, 유충은 과실의 중심부를 향해 섭식을 시작하여 이들 부위가 썩게 한다. 겉으로 나타나는 증상은 별로 없지만 심하게 감염되면 과실은 보통 땅에 떨어진다. 같은 과일에 반복해서 산란될 수 있기 때문에 한 과일에서 많은 유충이 발견될 수 있다. 유충기간은 여름에 7일에서 가을에는 6주 이상으로 기주와 온도에 따라 변한다. 3령 유충은 과일에서 나오며, 과실이 땅에 떨어지지 않은 경우 유충은 땅에 떨어진다. 이들은 땅 속 0.8-1.2 인치 (20-30 mm) 깊이의 구멍을 파고 번데기가 된다. 번데기 기간은 1주일 정도로 짧을 수도 있지만, 여름에는 보통 약 22일, 늦가을에는 60일 정도이며, 더 늦으면 추위에 의해 죽는다. 추운 날씨에 다소 적응될 수는 있지만 번데기로는 동면하지 않는다. 우화한 성충들은 2-3 주 정도 지속되는 이동상(migratory phase)을 거친다. 우화 후 첫 주에 우화한 성충의 75%가 주변을 떠난다. 평균 분산(dispersal) 거리는 6.4 km 정도이지만, 2 주 후 16 km까지 이동할 수 있으며, 3-7 주 후에는 26 km 까지도 이르는 것으로 알려져 있다.

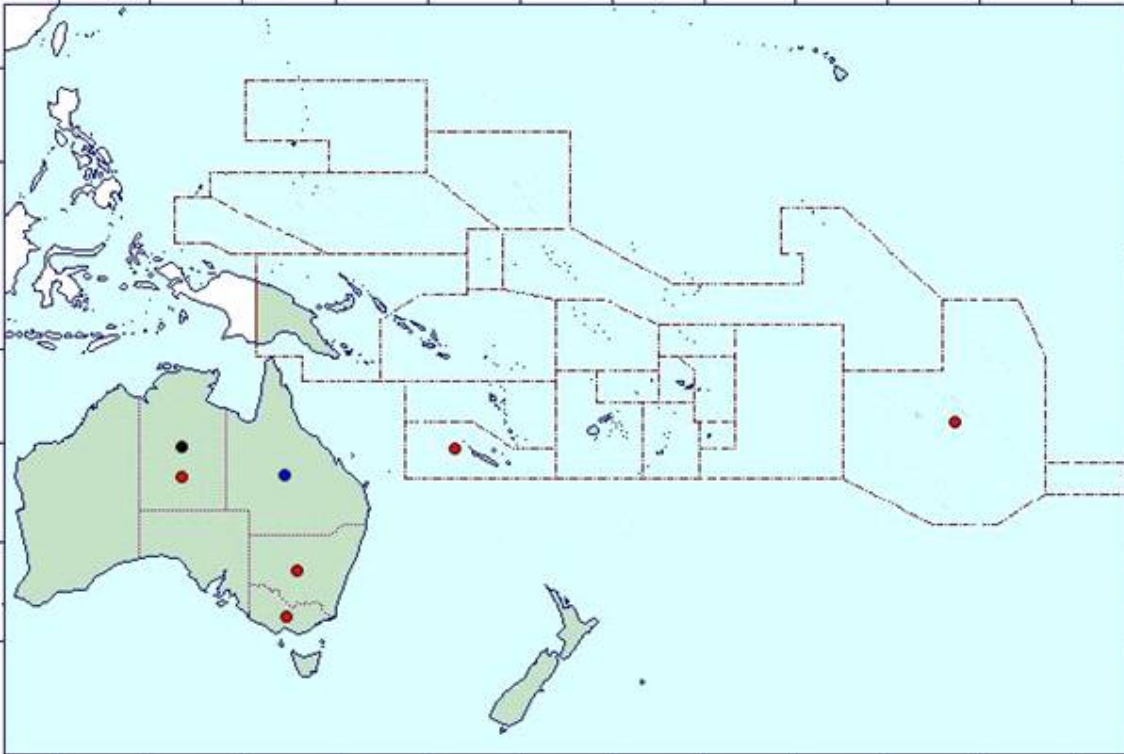
(나) 퀸즐랜드과실파리의 분포

**북아메리카:** 미국 (현재 없으나 발견된 적 있음)

**남아메리카:** 칠레 (박멸됨)

**오세아니아:** 호주 (Queensland, Northern Territory, Victoria 및 New South Wales 에 분포), French Polynesia, New Caledonia, New Zealand (박멸됨), 파푸아뉴기니 (현재 없으나 발견된 적 있음)





퀸즐랜드과실파리의 분포 (자료출처: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/17693>)

(다) 퀸즐랜드과실파리의 기주

퀸즐랜드과실파리는 호주에서는 파인애플을 제외한 재배되는 모든 과수를 가해하며, 최소한 49 과(Family)에 속하는 234 종의 식물을 가해하는 것으로 보고되어 있다. 현재까지 알려진 주요 기주 목록은 다음과 같다 (\*주기주식물; \*\*야생기주식물; 괄호 안은 일반명).

**Actinidiaceae** (다래나무과): *Actinidia deliciosa* (kiwifruit)

**Anacardiaceae** (웃나무과): *Anacardium occidentale* (cashew nut)\*, *Mangifera indica* (mango)\*, *Spondias dulcis* (otaheite apple), *Spondias mombin* (hog plum), *Spondias purpurea* (red mombin)

**Annonaceae** (포포나무과): *Annona cherimola* (cherimoya), *Annona glabra* (pond apple)\*, *Annona muricata* (soursop)\*, *Annona reticulata* (bullock's heart)\*, *Annona squamosa* (sugar apple), *Cananga odorata* (perfume tree), *Rollinia mucosa*, *Rollinia pulchrinervis*

**Apocynaceae** (협죽도과): *Nerium oleander* (oleander), *Thevetia peruviana* (exile tree)

**Arecaceae** (종려과): *Phoenix dactylifera* (date-palm)

**Bombacaceae** (물밤나무과): *Durio zibethinus* (durian)

**Cactaceae** (선인장과): *Opuntia ficus-indica* (prickly pear)

**Caricaceae** (파파야과): *Carica papaya* (pawpaw)\*

**Clusiaceae** (클루시아과): *Calophyllum inophyllum* (Alexandrian laurel), *Garcinia mangostana* (mangosteen)

**Combretaceae** (사군자과): *Terminalia arenicola*\*\*\*, *Terminalia catappa* (Singapore almond)\*

**Cucurbitaceae** (박과): *Cucumis* (melons, cucumbers, gerkins), *Cucurbita moschata*



(pumpkin), *Momordica charantia* (bitter gourd), *Trichosanthes cucumerina* (snake gourd)

**Ebenaceae** (감나무과): *Diospyros blancoi* (mabolo), *Diospyros kaki* (persimmon), *Diospyros virginiana* (persimmon (common))

**Ericaceae** (진달래과): *Vaccinium corymbosum* (blueberry)

**Euphorbiaceae** (대극과): *Phyllanthus acidus* (star gooseberry)

**Flacourtiaceae** (이나무과): *Dovyalis caffra* (kei apple), *Flacourtia jangomas* (Indian plum), *Flacourtia rukam* (rukam)

**Juglandaceae** (가래나무과): *Juglans regia* (walnut)

**Lauraceae** (녹나무과): *Persea americana* (avocado)

**Liliaceae** (백합과): *Clivia miniata* (kaffir lily)

**Malpighiaceae** (말피기과): *Malpighia emarginata*

**Malvaceae** (아욱과): *Gossypium hirsutum* (Bourbon cotton)

**Meliaceae** (멀구슬나무과): *Sandoricum koetjape* (santol)

**Moraceae** (뽕나무과): *Artocarpus altilis* (breadfruit), *Ficus racemosa* (cluster tree), *Morus alba* (mora), *Morus nigra* (black mulberry)\*,

**Musaceae** (파초과): *Musa* (banana)\*, *Musa x paradisiaca* (plantain)

**Myrtaceae** (도금양과): *Acca sellowiana*, *Eugenia*, *Eugenia brasiliensis* (brazil cherry), *Eugenia uniflora* (Surinam cherry)\*, *Feijoa sellowiana* (Horn of plenty), *Myrciaria cauliflora* (jaboticaba), *Psidium cattleianum* (strawberry guava)\*, *Psidium guajava* (guava)\*, *Psidium guineense* (Guinea guava), *Syzygium aqueum* (watery rose-apple)\*, *Syzygium cumini* (black plum), *Syzygium forte*\*\* , *Syzygium jambos* (rose apple)\*, *Syzygium malaccense* (Malay apple)\*, *Syzygium paniculatum* (australian brush-cherry), *Syzygium samarangense* (water apple)

**Olacaceae** (철청수과): *Olea europaea subsp. europaea* (European olive)

**Oxalidaceae** (괘이밥과): *Averrhoa bilimbi* (bilimbi), *Averrhoa carambola* (carambola)\*

**Passifloraceae** (시계꽃과): *Passiflora edulis* (passionfruit)\*, *Passiflora foetida* (red fruit passion flower), *Passiflora quadrangularis* (giant granadilla), *Passiflora suberosa* (corksystem passionflower)\*

**Punicaceae** (석류나무과): *Punica granatum* (pomegranate)

**Rhamnaceae** (갈매나무과): *Ziziphus jujuba* (common jujube), *Ziziphus mauritiana* (jujube)

**Rosaceae** (장미과): *Cydonia oblonga* (quince)\*, *Eriobotrya japonica* (loquat)\*, *Fragaria ananassa* (strawberry), *Malus domestica* (apple)\*, *Malus sylvestris* (crab-apple tree)\*, *Prunus armeniaca* (apricot), *Prunus avium* (sweet cherry), *Prunus cerasifera* (myrobalan plum), *Prunus domestica* (plum), *Prunus persica* (peach)\*, *Prunus salicina* (Japanese plum), *Pyrus communis* (European pear), *Pyrus pyrifolia* (Oriental pear tree), *Rubus fruticosus* (blackberry), *Rubus loganobaccus* (loganberry), *Rubus ursinus* (boysenberry)

**Rubiaceae** (꼭두서니과): *Coffea arabica* (arabica coffee)\*

**Rutaceae** (운향과): *Aegle marmelos* (golden apple), *Casimiroa edulis* (white sapote)\*, *Citrus aurantiifolia* (lime), *Citrus aurantium* (sour orange), *Citrus jambhiri* (rough lemon), *Citrus limetta* (sweet lemon tree), *Citrus limon* (lemon), *Citrus maxima* (pummelo),

*Citrus medica* (citron), *Citrus reticulata* (mandarin), *Citrus sinensis* (navel orange), *Citrus x paradisi* (grapefruit), *Clausena lansium* (wampi), *Eremocitrus glauca* (Australian desert lime), *Fortunella japonica* (round kumquat)\*, *Fortunella x crassifolia* (meiwa kumquat)

**Sapindaceae** (무환자나무과): *Blighia sapida* (Akee apple), *Dimocarpus longan* (longan tree), *Litchi chinensis* (lichi), *Nephelium lappaceum* (rambutan), *Pometia pinnata* (fijian longan)

**Sapotaceae** (산람과): *Chrysophyllum cainito* (caimito)\*, *Manilkara zapota* (sapodilla)\*, *Mimusops elengi* (spanish cherry), *Pouteria caimito*, *Pouteria campechiana* (canistel), *Pouteria sapota* (mammey sapote), *Synsepalum dulcificum*

**Solanaceae** (가지과): *Capsicum annuum* (bell pepper)\*, *Capsicum frutescens* (chilli), *Cyphomandra betacea* (tree tomato), *Lycium barbarum* (Matrimonyvine), *Physalis peruviana* (Cape gooseberry), *Solanum laciniatum* (kangaroo apple), *Solanum lycopersicum* (tomato)\*, *Solanum melongena* (aubergine), *Solanum seaforthianum* (Brazilian nightshade), *Solanum torvum* (turkey berry)

**Tiliaceae** (피나무과): *Grewia asiatica* (phalsa)

**Vitaceae** (포도과): *Vitis labrusca* (fox grape), *Vitis vinifera* (grapevine)

(라) 퀸즐랜드과실과리 발생세대 예찰 매뉴얼

① 발생세대수 추정

곤충은 전형적인 변온동물로 온도에 따라 발육이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기온도에 의해 영향을 받으며, 다만 번데기 단계는 토양 내에서 경과함으로 토양온도의 지배를 받는다. 따라서 발육을 진행할 수 있는 최저온도의 개념인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온량을 적산하여(적산온도, degree-days, DD) 생활사의 경과를 예측할 수 있다.

지금까지 퀸즐랜드과실과리에 대한 온도발육자료는 찾기 힘들다. 기존의 부분적인 자료를 매개변수화하여 추정된 각 발육단계별 발육영점온도와 적산온도는 알 11.1°C 26.2 DD, 유충 10.0°C 164 DD, 번데기 11.2°C 163 DD, 산란전기간 12.3°C 92.6 DD로 보고되었다(Yonow et al., 2004).

표 1. 퀸즐랜드과실과리 발육단계별 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도

발육단계	발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)	회귀 추정식	인용문헌
알	11.1	26.2	$y = 0.0382x - 0.4229$	Yonow et al., 2004
유충	10.0	163.9	$y = 0.0061x - 0.0609$	
용	11.1	163.9	$y = 0.0061x - 0.0680$	
산란전성충	12.3	92.6	$y = 0.0108x - 0.1330$	
알-알 기간	Kean-모형	11.1	446.6	Kean, 2015
	Meats-모형	10.0	481.1	Meats, 1981
	Fitt-모형	11.0	602.0	Fitt, 1990

퀸즐랜드과실과리의 세대수 추정모형과 관련하여 USDA 긴급대응 매뉴얼에서는 알-성충 발육영점온도 11.5°C, 산란전 성충 발육영점온도 13.0°C를 적용하여 총 753.4 DD를 제시하였다. 이 모형은 두 단계로 적산온도를 계산해야하는 불편이 있다. Kean(2015)는 Yonow et al.(2004)의 개체군 모형에 사용된 알, 유충, 용, 산란전기간의 온도발육선형모형을 토대로 알-알 기간(세대기간)을 추정하여 발육영점온도 11.1°C와 적산온도 446.6 DD를 제시하였다. 또한 Meats(1981)는 비선형 발육모형을 기반으로 발육영점온도 10.0°C와 적산온도 481.1 DD를 제시한바 있다. 기타 Fitt(1990)는 25°C에서 수행한 생명표 통계량을 바탕으로 알-알(중양값) 기간 완료에 필요한 발육영점온도 11.0°C와 적산온도 602.0 DD를 보고하였다.

문헌적 근거와 검증된 자료를 기반으로 추정된 Kean-모형이 퀸즐랜드과실과리 세대수 추정에 우선적으로 사용할 수 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며 따라서 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 즉 최종 발견일 다음날부터 적산온도를 계산하여 446.6 DD 되는 날이 1세대가 완료되는 날이다(446.6 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다. Kean-모형과 Meats-모형을 제공하였으며 Kean-모형을 우선적으로 사용한다.

발생세대수 추정을 하는 동안 겨울철과 만나는 경우 적산온도가 누적되지 않기 때문에 진행되고 있는 세대가 다음연도로 넘어가서 완료될 수 있다. 이런 경우 현장조사 활동은 발생세대수가 아닌 평균 대기온도를 기준으로 결정한다.

퀸즐랜드과실과리 성충은 평균 14°C 이하의 온도가 1주일 정도 지속되면 난소가 발육하지 못하여 생식이 정지되고, 생식을 재개하려면 13°C이상으로 온도가 회복되어야 한다. 온도가 회복되면 다시 산란전기간에 필요한 적산온도 경과후 산란을 시작한다. 평균 온도가 13°C 이하로 몇 주가 지속되면 미성숙 발육단계(알, 유충, 번데기)는 100% 사망한다. 평균온도가 -4°C 이하에서 4~5일 지속되어도 모든 미성숙 발육단계는 사망한다(Reviewed in Jeffrey, 1990.). 기타 Yonow et al. (2004)는 최고온도 18°C 이하가 연속 5일 경과시 월동처로 이동하고, 18°C 이상 온도가 연속 4일 지속되면 활동을 재개하는 것으로 개체군 모형을 작성하였다.

온도에 따른 퀸즐랜드과실과리의 생식반응에 따라 평균온도 14°C 이하의 일수가 7일 계속되면 트랩조사를 중단한다. 다음해 13°C 이상 평균온도가 4일 이상 지속되면 조사를 재개한다. 단, 노지작물에서는 겨울동안 조사중지가 가능하지만 시설재배(특히 가온재배)의 작물은 상황에 따라 위험도를 평가하여 조사를 계속 실시한다.

## ② 월동사망률 추정

퀸즐랜드과실과리 성충의 월동기간 중 사망에 관여하는 요인은 온도(저온), 강우, 토양수분 등 다양한 요인이 관여하는 것으로 알려져 있다. 국내환경에서는 겨울철 강우는 빈번한 현상이 아니고 토양수분도 극단적이지 않기 때문에 온도조건이 사망에 관여하는 주요인으로 취급할 수 있다.

퀸즐랜드과실파리는 겨울철 서식환경이 악화되면 성충이 은신처로 이동하여 월동하는 것으로 보고되어 있으며(Yonow et al.(2004)), 따라서 성충 상태로 월동이 가능하다. 이에 따라 온도에 따른 성충의 사망률(단위사망률 즉 일별사망률)은 Yonow et al.(2004)가 제시한 온도의존성충사망률을 이용하여 추정할 수 있다. 이 온도별 사망률 관계식은 산란전 성충을 기준으로 작성한 것이나 모든 성충의 발육상태에 적용하였다.

- . 온도(Tc)가 -2°C 이하인 조건: 사망률 =  $-0.07 \times \text{온도} - 0.131$
- . 온도(Tc)가 36°C 이상인 조건: 사망률 =  $0.125 \times \text{온도} - 4.5$
- . 온도(Tc)가 -2°C 이상이면 사망률은 '0'으로 간주

Yonow의 식에 따라 사망이 발생하는 온도를 '생존하한온도'로 정의하였고(추정온도 -1.0°C), 온도가 감소하여 1일 이내 사망하는 저온 치사온도는 -16.2°C로 추정되었다. 최종적으로 Yonow의 온도의존성충사망률 관계식을 이용하여 온도범위별 연속출현일수에 따른 월동생존율을 추정할 수 있다.

제시된 표에서 “온도범위  $T \leq -3.0$ ”와 “생존일수 13일”은 영하 -3도시(최저기온) 되는 날이 13일 연속되는 경우 사망으로 간주한다는 것을 의미한다. 겨울철인 전년도 12월 1일부터 다음해 2월 28일까지 일별 최저기온을 이용하여 온도범위별 출현일수를 계산할 수 있다.

부록으로 제공된 엑셀시트(부록 2)를 이용하여 계산하고 대응조치 운영시 참고자료로 활용한다.

표 2. 퀸즐랜드과실파리 성충의 100% 사망에 필요한 온도 범위별 연속일수

온도범위	일사망률	생존일수	비 고
$-3.0 < T$	0.0	생존	
$T \leq -3.0$	0.079	13	
$T \leq -4.0$	0.149	7	
$T \leq -5.0$	0.219	5	
$T \leq -6.0$	0.289	4	
$T \leq -7.0$	0.359 ~ 0.499	3	
$T \leq -10.0$	0.569 ~ 0.9	2	
$T \leq -17.0$	1.0	1	

**라. 복숭아과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼**

(1) CLIMEX 모형 이용 복숭아과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 기존값(Ni et al., 2012)을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

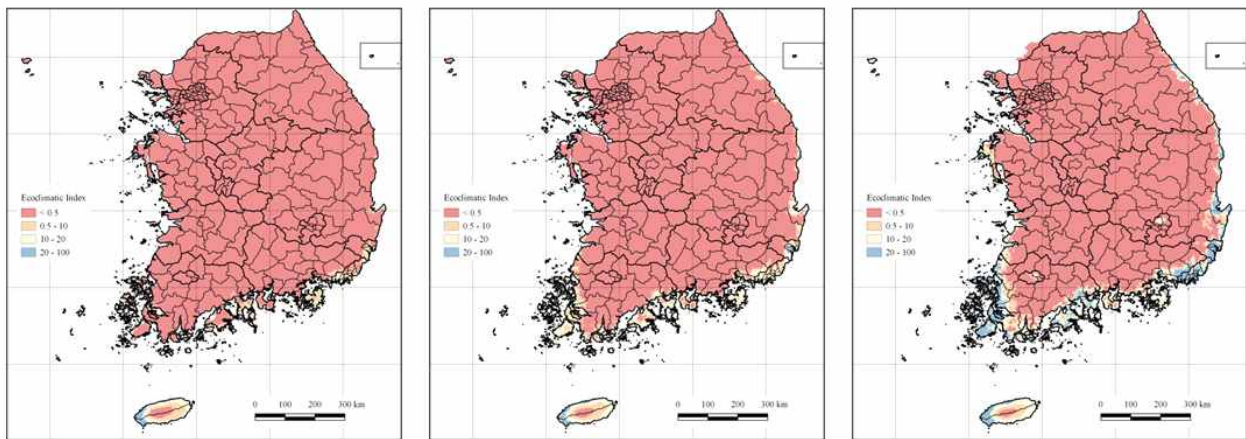
**<복숭아과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>**

종류	매개변수	추정값	종류	매개변수	추정값
Moisture Index	SM0	0.1	Cold Stress	TTCS	2
	SM1	0.2		THCS	-0.008
	SM2	1		DTCS	-
	SM3	1.6		DHCS	-
Temperautre Index	DV0	12.6/10.6	Heat Stress	TTHS	36
	DV1	20		THHS	0.0005
	DV2	30		DTHS	-
	DV3	36		DHHS	-
	PDD	380	Diapause	DPD0	-
Dry Stress	SMDS	0.08		DPT0	-
	HDS	-0.0007		DPT1	-
Wet Stress	SMWS	1.6	DPD	No/608.2	
	HWS	0.005			

**2011-2020**

**2051-2060**

**2091-2100**



**RCP8.5 기후시나리오에 따른 복숭아과실파리 기후적합 정착위험도 지도**

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable (적색), 0.50 - 9.99 = marginal (등색), 10 - 19.99 = suitable (베이지색), >20 = optimal (청색) and 100 = perfect)

(2) 복숭아과실파리 온도발육 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 복숭아과실파리의 생활사

복숭아과실파리의 성체는 실험실에서는 빛을 약하게 하였을 때, 그리고 야외에서는 해질녘에 교미를 하는 것이 관찰된 바 있다. 암수 공히 몇 차례에 걸쳐 교미하지만, 암컷은 살아있는 동안에 교미 후 2-7일이 경과하면 산란을 한다. 따라서 성적 성숙이 일어나는(8-16일) 기간을 포

합한다면 첫 번째 알을 산란하기까지의 산란전 기간은 10-23일이다.

암컷은 끝으로 가면서 좁아지는 형태의 백색 타원형의 알을 낳는다. 알은 오리엔탈과실파리의 것과 비슷하며 길이는 1.1mm, 너비는 0.2mm이며 끝부분에 micropyle이 있다. 복숭아과실파리의 암컷은 산란기로 과실에 구멍을 내어 2-9개의 알을 과실 내부에 산란한다. 암컷은 낮에 산란을 하나 오후에 대부분의 알을 낳는 것을 선호한다. 산란흔은 과실에 미생물을 감염시켜 빠르게 부패하게 하는 요인이 될 수 있다. 복숭아과실파리 암컷은 하루에 최대 93개, 일생 동안에는 최대 584개의 알을 산란할 수 있으므로 적합한 환경에서는 매우 빠르게 번식할 수 있다. 이상적인 환경에서 알의 부화는 이틀 이내에 일어날 수도 있다. 이 부화기간은 온도가 정상 이하일 때 늦어질 수 있다.

과실의 펄프를 섭식하는 복숭아과실파리 유충은 매끄럽고, 흰색이며, 다리가 없는 전형적인 구더기이다. 온도에 따라 유충기간은 4-6일 동안이다. 이후 유충은 과실에 뚜렷한 구멍을 뚫고 밖으로 떨어져 흙속에서 용화한다. 무언가에 방해받을 때 유충은 몸을 접어 점프를 할 수 있다. 이 현상은 실험실에서도 관찰되었으며 이들의 분산에 중요한 역할을 하는 것으로 생각된다.

유충들은 과실의 펄프를 섭식함으로써 해당 과실에 피해를 입히며, 추가적으로 유충이 빠져 나오면서 명확하고 보기 싫은 구멍을 남김으로서도 피해를 준다. 피해는 지중해과실파리나 오이과실파리의 것들과 비슷하다

토양이 용화에 필수적인 것은 아니지만, 유충들은 대부분 토양의 질감이나 촉촉함에 따라 땅 밑 1-8 인치 아래서 용화한다. 전형적인 번데기는 5mm 길이의 흑갈색, 타원형의 puparium에 싸여있다. 이 시기는 활동이 없는 시기이며 여름에는 4-16일, 그리고, 문헌에 따르면, 겨울에는 최대 46일 동안 지속된다. 성충은 땅속에서부터 우화한다.

생활환은 이상적인 환경에서는 20일 만에 완료될 수 있으며 낮은 온도에서는 연장된다.

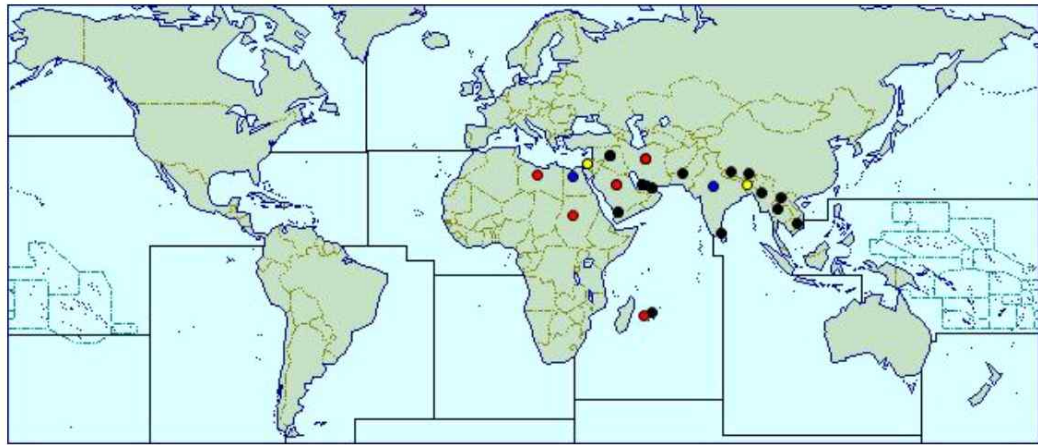
성체는 대략 집파리 정도의 크기이다. 적갈색이며 배의 가로띠는 노랑색, 날개는 투명하며 각 날개의 끝부분에 작은 갈색의 점이 있다. 더듬이는 머리의 세로 길이보다 짧다.

갓 우화한 성충은 성적으로 성숙한 상태가 아니며, 저장에너지가 적거나 거의 없다. 이상적인 환경에서 성충은 8일(드물게는 6일)에서 16일 만에 성적으로 성숙하며 몇 세대를 번식하게 된다. 복숭아과실파리 성충은 당밀, 부패한 과실, 화밀, 식물의 즙 등을 섭식한다.

자연 상태에서 성충의 평균수명은 일반적으로 천적의 유무, 구할 수 있는 먹이의 종류와 질, 기후에 영향을 받는다. 실험실에서는 최대 78일이 기록된 바 있다.

표식/재포획 실험을 통하여, 성충은 방사 지역에서 40km 거리에서 재포획 된 바 있다. 따라서 이들은 먹이나 숙주를 찾기 위하여 매우 빠르게 분산될 수 있다. 단 적절한 먹이나 숙주만 있는 지역에만 존재한다면, 복숭아 과실파리는 그 지역에 머무는 경향이 있다는 보고가 있다. 이는 이러한 지역으로부터 해충에 오염된 과실의 인위적인 이동을 막음으로써 복숭아과실파리의 분산을 어느 정도 방지할 수 있다는 것을 시사해 준다(검역 규정 등에 명시되어 있듯이). 복숭아과실파리의 분산은 성충의 비행뿐만 아니라, 바람이나, 인위적인 오염과실의 이동을 통해서도 영향을 받는다. 휴식을 취하거나 섭식하기 위하여 성충은 나무나 꽃이 핀 숙주, 또는 진딧물로 오염된 곳을 찾으며, 적당한 열매를 가진 숙주는 주로 산란을 위해서만 찾는다. 가장 온도가 높은 낮 시간에는 잎, 꽃 또는 온도가 낮은 다른 곳에 숨어 있다.

#### (나) 복숭아과실파리의 분포



- = Present, no further details
- = Widespread
- = Localised
- = Confined and subject to quarantine
- = Occasional or few reports
- = Evidence of pathogen
- = Last reported
- = Presence unconfirmed
- = See regional map for distribution within the country

복숭아 과실파리는 아시아에서는 인도의 대부분의 주에 분포하며 파키스탄까지 광범위하게 분포할 것으로 추정되고 있다.

아프리카에서는 두 지역에 분포하는데, 모리셔스 및 레위니옹 같은 인도양의 섬들과 이집트와 리비아로 대표되는 북아프리카 지역이다. 최근에는 수단의 게지라 지방(Gezira region)에서 발견되어 사하라 사막 남부까지 침입했을 위험성이 제시되었다(De Meyer et al., 2007).

이들은 또한 아라비아 반도의 오만, 사우디아라비아, UAE, 예멘에도 분포한다.

북미에는 세 개체가 캘리포니아에서 트랩으로 확인되었으나(Carey and Dowel, 1989), 박멸되었다(Spaugy, 1988). 현재까지 알려진 분포지역의 명단은 다음과 같다.

**아시아:** 방글라데시, 부탄, 인도(Andhra Pradesh, Assam, Bihar, Delhi, Goa, Gujarat, Haryana, Himachal Pradesh, Indian Punjab, Jammu and Kashmir, Karnataka, Kerala, Madhya Pradesh, Maharashtra, Tamil Nadu, Uttar Pradesh, West Bengal), 이란, 이라크, 이스라엘, 라오스, 미얀마, 네팔, 오만, 파키스탄, 사우디아라비아, 스리랑카, 태국, UAE, 베트남, 예멘.

**아프리카:** 이집트, 리비아, 모리셔스, 레위니옹, 수단.

(다) 복숭아과실파리의 기주

① 기주 목록

다양한 과를 공격하는 다식성 과실파리이며, 주요 작물인 망고, 구아바 복숭아에 심각한 해충이다. 현재까지 알려진 기주 목록은 다음과 같다(\*: 야생기주).

**Anacardiaceae** (웃나무과): *Mangifera indica* (mango)

**Annonaceae** (포포나무과): *Annona squamosa* (sugar apple)

**Areaceae** (종려과): *Phoenix dactylifera* (date palm)

- Caricaceae** (파파야과): *Carica papaya* (pawpaw)  
**Combretaceae** (사군자과): *Terminalia catappa* (Singapore almond)  
**Cucurbitaceae** (박과): *Luffa*, *Momordica charantia* (bitter gourd)  
**Lecythidaceae** (오예과): *Careya arborea* (tummy wood)\*  
**Moraceae** (뽕나무과): *Ficus carica* (fig)  
**Myrtaceae** (도금양과): *Psidium guajava* (guava)  
**Punicaceae** (석류나무과): *Punica granatum* (pomegranate)  
**Rosaceae** (장미과): *Cydonia oblonga* (quince), *Eriobotrya japonica* (loquat), *Malus domestica* (apple), *Prunus armeniaca* (apricot), *Prunus persica* (peach)  
**Rutaceae** (운향과): *Aegle marmelos* (golden apple), *Citrus* spp.  
**Solanaceae** (가지과): *Solanum tuberosum* (potato), *Solanum melongena* (egg plant), *Solanum lycopersicum* (tomato)  
**Tiliaceae** (아욱과): *Grewia asiatica* (phalsa)

② 우리나라에 알려진 기주 목록

제주도에 자생, 귀화 및 재배되는 식물 중 현재까지 알려진 복숭아과실파리의 기주는 다음과 같다.

(자료출처: 산림청 국가표준식물 목록)

연번	종분류	학명	국명
1	재배식물	<i>Annona squamosa</i> L.	스쿠아모사야노나
2	재배식물	<i>Carica papaya</i> L.	파파야
3	재배식물	<i>Citrus</i>	귤류
4	재배식물	<i>Ficus carica</i> L.	무화과나무
5	재배식물	<i>Luffa</i>	수세미 류
6	재배식물	<i>Malus domestica</i>	사과
7	재배식물	<i>Mangifera indica</i> L.	망고
8	재배식물	<i>Momordica charantia</i> L.	여주
9	재배식물	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	복사나무
10	재배식물	<i>Prunus armeniaca</i> (L.)	살구나무
11	재배식물	<i>Psidium guajava</i> L.	구아바
12	재배식물	<i>Punica granatum</i> L.	석류나무
13	재배식물	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	토마토
14	재배식물	<i>Solanum melongena</i> L.	가지
15	재배식물	<i>Solanum tuberosum</i> L.	감자

(라) 복숭아과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

① 발생세대수 추정

복숭아과실파리는 10°C 이상온도에서는 연중 발생할 수 있고, 35°C 이상 온도 또는 야간에는 활동하지 못한다. 성충은 주로 아침에 꽃꿀(nectar), 수액(plant sap), 부패과실을 섭식한다. 번데기로부터 주로 아침에 성충으로 우화하며 성적성숙이 되기 위해서는 10~16일이 소요된다. 성충은 주로 어린 과실에 산란하는데 과실 껍질에 구멍을 내고 한번에 3~9개의 알을 낳는다. 최



적온도는 25~30°C이며 15°C 이하에서는 잘 발육하지 못한다(Qureshi et al., 1993). 다 자란 유충은 땅으로 떨어져서 토양 내에서 번데기로 된다. 번데기는 여름철에는 4주, 겨울철에는 6주 정도가 소요된다. 복숭아과실파리는 휴면이 필요한 지역에서는 번데기로 월동한다(CABI, 2017). 발육영점온도와 유효적산온도는 해충의 온도에 따른 발육기간 자료를 이용하여 추정할 수 있다. 현재 이용 가능한 복숭아과실파리의 온도발육자료는 표 3.1과 같다.

**표 3.1.** 복숭아과실파리의 발육과 온도와의 관계 - 발육기간, 수명, 산란수

온도	발육기간			성충					인용문헌
	알	유충	용	산란전기 간	산란기간	산란후기 간	암컷 수명	총산란	
15	9.5	27.25	36						Ali, 2016
15	10.17	30	53	.					Duyck et al., 2004
15	10.33	26.2							Elnagar et al., 2010
16.8			10	32					Shehata et al., 2008
17.6				21					Shehata et al., 2008
20	5.75	13	16						Ali, 2016
20	3.46	10	20	.					Duyck et al., 2004
20	4.2	14.8							Elnagar et al., 2010
20	11.3	33.7	47.67	27.67	67.33	12.33	107.33		Fetoh et al., 2012
20	4.5	14.2	14.01	29.4				24.6	Younes & Akel, 2010
21.1			10	27					Shehata et al., 2008
22.1			9	25					Shehata et al., 2008
22.7			7	21					Shehata et al., 2008
25	3	8	11						Ali, 2016
25	2.04	5	10	24					Duyck et al., 2004
25	2.32	8.47							Elnagar et al., 2010
25	6.3	24.3	14.33	18	55	8	81		Fetoh et al., 2012
25	3.18	10.3	9.5	22.8				186	Younes & Akel, 2010
26.6			7	21					Shehata et al., 2008
28.2			8	18					Shehata et al., 2008
29.7			6	18					Shehata et al., 2008
29.8			6	18					Shehata et al., 2008
30	2	4.5	8						Ali, 2016
30	1.42	4	8	13					Duyck et al., 2004
30	1.69	5.35							Elnagar et al., 2010
30	3	16.7	7.8	12.33	34.33	6	52.67		Fetoh et al., 2012
30	2.4	7.75	7.01	20.4				96.1	Younes & Akel, 2010
35	1.54	4	8	.					Duyck et al., 2004
35	1.52	4.8							Elnagar et al., 2010
35	2.5	10.3	6.67	8	18	4.67	30.67		Fetoh et al., 2012
35	2	7.01	5.81	17.8				87.8	Younes & Akel, 2010
40	1.02	5.02							Elnagar et al., 2010
40	1.8	6.7	.	.	.	.	.		Fetoh et al., 2012

기존 보고된 모든 자료를 종합하여 각 발육단계의 발육영점온도와 유효적산온도를 추정하면 표 3.2와 같다. 이 자료는 포장에서 예찰 작업시 특정 발육단계의 발육완료율을 추정하는데 활용할 수 있다.

**표 3.2.** 복숭아과실파리 발육단계별 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도

발육 단계	온도발육 선형모형			발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)
	회귀식(y: 발육율, x: 온도)	df	r <sup>2</sup>		
알	$y = 0.0266x - 0.2870$	19	0.81	10.8	37.6
유충	$y = 0.0082x - 0.0817$	19	0.77	9.9	121.7
번데기	$y = 0.0071x - 0.0716$	21	0.85	10.2	141.8
알-알기간	$y = 0.0174x - 0.0129$	7	0.76	10.6	608.2

복숭아해과실파리 박멸과정에서 최종발견 후 발생 세대수에 따라서 대응조치를 달리하게 되는데, 세대수는 세대기간(알-알기간) 완료에 필요한 발육영점온도와 유효적산온도를 이용하여 추정할 수 있다.

FAO/IAEA(2000)에서는 대기온도를 이용하는 경우 12.2°C, 토양온도를 이용하는 경우 9.4°C로 발육영점온도를 적용하고, 세대기간은 적산온도가 344 DD 누적시 완료되는 것으로 제시하고 있다. 또한 미국 USDA 매뉴얼(Jeffrey, 1988)에는 같은 발육영점온도에서 620 DD를 제시하였다. 이들 모형은 차이가 커서 논리적으로 설명하기 힘들다.

기존자료를 종합하여 추정한 알-알 세대기간 완료에 필요한 적산온도는 발육영점온도 10.6°C에서 608.2 DD로 나타났다. 이 매개변수를 세대수 추정에 우선적으로 사용할 수 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며 따라서 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 즉 최종 발견일 다음날부터 적산온도를 계산하여 608.2 DD 되는 날이 1세대가 완료되는 날이다(608.2 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

겨울동안 조사 중지는 오리엔탈과실파리 의사결정 방법에 따른다. 단, 노지작물에서는 겨울동안 조사중지가 가능하지만 시설재배(특히 가온재배)의 작물은 상황에 따라 위험도를 평가하여 조사를 계속 실시한다.

## ② 월동사망률 추정

복숭아과실파리는 열대지역 해충으로 극단적인 추위에는 생존이 불가능하다. 그러나 온대내지 중위(mesothermal)기후대로 취급되는 가장 추운 달의 평균온도가 0°C이상 18°C이하이고, 가장 더운 달의 평균온도가 10°C 이상 지역에서 내성을 갖고 있고(tolerance 정착가능), 건조 온난기후대인 따뜻한(계절) 평균온도 10°C 이상과 추운(계절) 평균온도 0°C 이상 지역에서 서식 가능한 것으로 보고되었다(CABI, 2017). 한편 Ni et al.(2012)는 클라맥스 모형을 적용하면서 평균온도 2.0°C 이하에서 주 당 -0.008의 저온 스트레스를 적용하였다. 이 조건은 아열대와 온대 기후에서 겨울철 복숭아과실파리가 충분히 생존할 수 있는 상황을 나타낸다.

번데기 상태로 월동 가능한(CABI, 2017) 복숭아과실파리는 날씨가 더 서늘한 인도 북부에서

오리엔탈과실파리보다 우점하고 있으며(Agarwal and Kapoor, 1986), 인도 비하르(Bihar) 지역에서는 오리엔탈과실파리보다 발생량이 3.38배 높다(Agarwal et al., 1999). 반면, 인도 남부지역에서는 오리엔탈과실파리가 우점하고 있다. 프랑스령인 레위니옹(프랑스령, Reunion)에서는 1991년 복숭아과실파리 첫 검출 후 지중해과실파리를 대체하고 있는 것으로 나타났다(Duyck et al., 2006). 복숭아과실파리는 이집트 따뜻한 기후에도 잘 적응하여 지중해과실파리 보다 우점하고 있다(Elnagar et al., 2010).

종합적으로 판단하면 복숭아과실파리는 고온에 잘 적응하고 있는 종임에도 불구하고, 적어도 우리나라 제주도와 남해안에서 월동이 가능한 것으로 보이며, 긴급조치 실행이 이러한 점에 대한 고려가 필요하다.

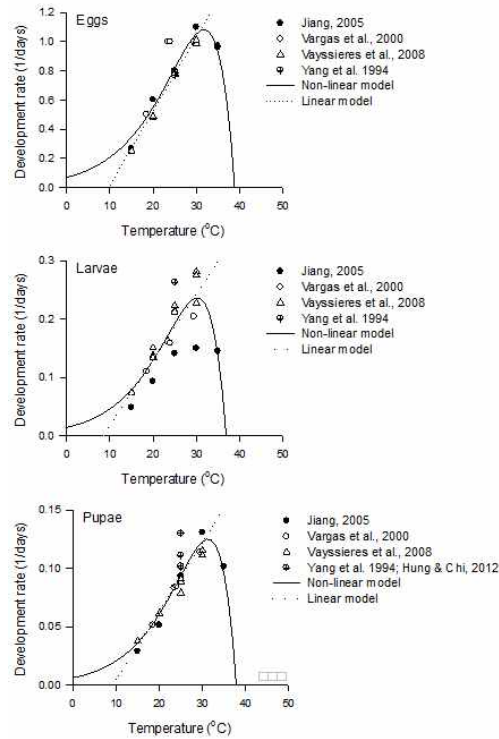
#### 마. 오이과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

##### (1) 오이과실파리 온도발육자료 수집 및 개체군 모형 매개변수 추정

오이과실파리 개체군 모형에 필요한 기존 온도발육자료를 수집한 결과 <표 6>과 같았다. 실험지역 및 기주식물에 따라 다소 발육기간과 산란수에 차이가 있었으며, 자료를 분류하여 기본 모형 개발에 사용하였다. 수집자료를 이용하여 개체군 모형 작성에 필요한 기본 온도의존 발육 모형의 매개변수를 추정하였다. 모형 수식의 추정은 오리엔탈과실파리에 적용한 방법과 같았다.

<표 6> 오이과실파리 온도발육자료: 발육기간, 수명, 산란수

처리 온도	발육기간			성충수명 및 산란수				생명표 통계량				실험 지역	실험대상 기주식물	출처문헌
	알	유충	용	산란 전	암컷 수명	수컷 수명	총산란	$r_m$	$R_o$	DT	T			
15	4	13.5	26.7									남아프리카	오이	Vayssieres et al., 2008
15	N	N	N									남아프리카	pumpkin	Vayssieres et al., 2008
15	N	N	N									남아프리카	squash	Vayssieres et al., 2008
15	3.76	20.7	34.6	54.05	68.47		124.16	-0.0005	0.9	118.5	113.1	중국	오이	Jiang, 2005
18.5	2.0	9.1	19.5	53.5	232.7	399.8	199.2	0.034	23.1	20.7	105.1	하와이	papaya	Vargas et al., 2000
20.0	2.1	6.7	16.3									남아프리카	오이	Vayssieres et al., 2008
20.0	2.1	7.3	16.3									남아프리카	pumpkin	Vayssieres et al., 2008
20.0	2.1	7.5	16.3									남아프리카	squash	Vayssieres et al., 2008
20	1.66	10.7	19.5	28.42	83.5		529.31	0.0666	113.3	71	60.32	중국	오이	Jiang, 2005
23.5	1.0	6.2	12.0	20.7	107.6	180.6	448.3	0.074	62.8	9.5	55.8	하와이	papaya	Vargas et al., 2000
24.0	1.0	6.3	11.9	43.2	159.0	221.0	236.5	0.053	42.1	14.0	72.7	하와이	papaya	Vargas et al., 2000
25.0	1.3	4.7	11.3	10.0	182.0	178.0						남아프리카	오이	Vayssieres et al., 2008
25.0	1.3	4.5	12.7	12.0	237.0	219.0						남아프리카	pumpkin	Vayssieres et al., 2008
25.0	1.3	4.7	11.0	10.6	217.0	147.0						남아프리카	squash	Vayssieres et al., 2008
25	1.25	7.1	10.7	14.06	93.57		1002.62	0.0822	181.3	63.3	33.12	중국	오이	Jiang, 2005
25			7.7	8	57.8	84	341.8	0.1446	137.8		34.2	대만	오이	Huang and Chi, 2012
25			9.9	9.6	77.7	73.5	522.1	0.1412	172.3		36.5	대만	수세미	Huang and Chi, 2012
25			9.8	28	55.4	50.1	137.5	0.0688	46.8		56.1	대만	당근배지	Huang and Chi, 2012
25	1.3	3.8	9					0.1083	72.9	6.4	39.6		pumpkin	Yang et al., 1994
29.5	1.0	4.9	8.8	15.6	109.0	109.9	360.9	0.075	23.0	9.4	41.5	하와이	papaya	Vargas et al., 2000
30	1.0	3.6	8.7									남아프리카	오이	Vayssieres et al., 2008
30	1.0	4.4	9.0									남아프리카	pumpkin	Vayssieres et al., 2008
30	1.0	3.6	9.0									남아프리카	squash	Vayssieres et al., 2008
30	0.91	6.68	7.66	12.79	88.45		878.41	0.0841	230.5	64.7	28.04	중국	오이	Jiang, 2005
35	1.04	6.92	9.85	13.15	80.96		719.46	0.0415	10.5	56.7	30.96	중국	오이	Jiang, 2005



<그림 14> 온도와 오이과실파리 발육율과의 관계(락틴모형)

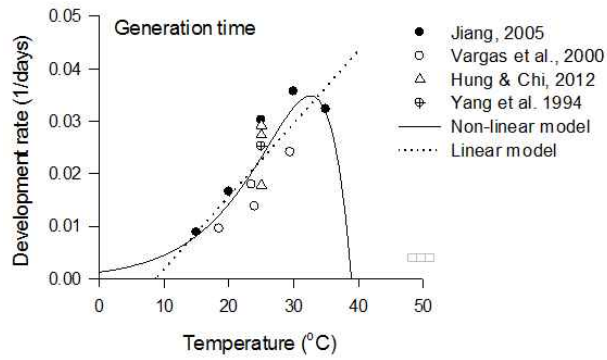
<표 7> 오이과실파리 온도발육 선형모형의 매개변수 값

발육단계	온도발육 선형모형			발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)
	회귀식(y: 발육율, x: 온도)	df	r <sup>2</sup>		
알	$y = 0.05078x - 0.49140$	18	0.98	9.7	19.7
유충	$y = 0.01122x - 0.09469$	18	0.68	8.4	89.1
번데기	$y = 0.00589x - 0.05448$	21	0.85	9.2	169.7
알-알기간	$y = 0.00178x - 0.01748$	9	0.98	9.8	562.5

알-알 2017년 보완 추가(김동순)

<표 9> 오이과실파리 비선형 발육모형의 매개변수 추정값(±SEM)(락틴모형)

매개변수명	알	유충	번데기
$T_{max}$	0.1394±0.01250	0.1497±0.01684	0.1527±0.01107
$\Delta T$	38.9080±1.09521	36.9198±0.87412	37.8303±0.70739
$\rho$	7.0808±0.60372	6.6643±0.74169	6.5417±0.47228
R <sup>2</sup>	0.87	0.69	0.86



<그림 15> 온도에 따른 오이과실파리 세대완료율 곡선

<표 10> 오이과실파리 세대기간 완료율 모형의 매개변수

모형의 종류	매개변수명	추정값	비고
비선형모형 (락틴모형)	$T_{max}$	$0.1580 \pm 0.03304$	$R^2=0.69$
	$\Delta T$	$38.9254 \pm 2.23294$	
	$\rho$	$6.3265 \pm 1.32167$	
선형모형	$a$	$0.00139 \pm 0.000300$	$R^2=0.66$ 발육영점온도(°C) = 8.7°C 적산온도(DD) = 720.9
	$b$	$-0.012002 \pm 0.007550$	

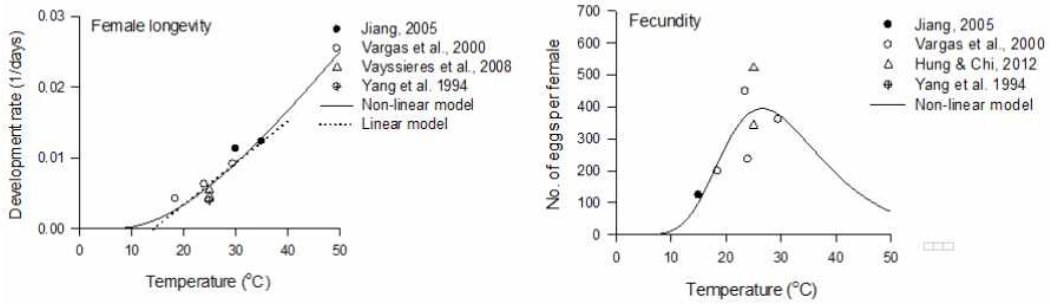
○ 선형모형은 박멸선언 매뉴얼의 세대기간 추정에 사용 예정

<표 11> 오이과실파리 성충수명완료 및 산란모형 부모형의 매개변수 추정결과

매개변수	매개변수명	추정값	SEM	$R^2$
성충수명 완료율	$\alpha$	0.0010	0.00046	0.82
	$\beta$	36.1309	12.89312	
총산란수	$a$	395.25	51.361	0.89
	$b$	26.56	4.1607	
	$\kappa$	8.914	4.098	
산란율	$\gamma$	0.2340	0.02101	0.97
	$\eta$	0.4398	0.02814	
	$\epsilon$	1.0576	0.07996	
생존율	$\gamma$	0.9959	0.00486	0.97
		-0.1360	0.00432	

\* 각 모형의 수식은 오리엔탈과실파리와 동일함

\* 산란율과 생존율 모형은 우선 기존의 추정치(Kim et al., 2012)를 활용하고 개선 보완



<그림 15> 오이과실파리 성충수명완료율과 총산란수 모형

(2) CLIMEX 모형 이용 오이과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 기존값(Kong et al., 2008)을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

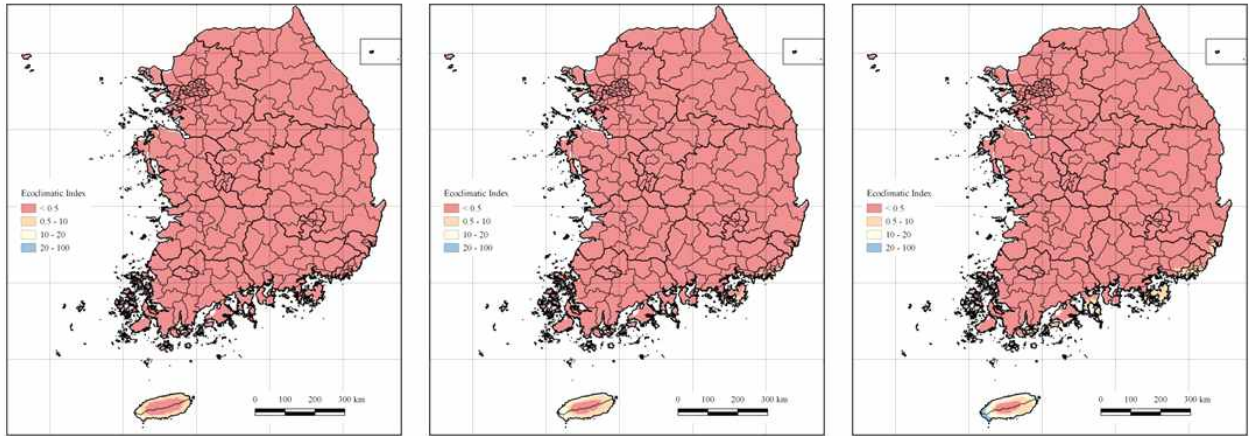
<오이과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>

종류	매개변수	추정값	종류	매개변수	추정값
Moisture Index	SM0	0.1	Cold Stress	TTCS	-
	SM1	0.3		THCS	-
	SM2	1		DTCS	5
	SM3	1.5		DHCS	0.0015
Temperautre Index	DV0	12/10.1	Heat Stress	TTHS	39
	DV1	22		THHS	0.01
	DV2	30		DTHS	-
	DV3	35		DHHS	-
	PDD	622	Diapause	DPD0	-
Dry Stress	SMDS	0.02		DPT0	-
	HDS	0.05		DPT1	-
Wet Stress	SMWS	1.6	DPD	No/592.5	
	HWS	0.0015			

2011-2020

2051-2060

2091-2100



### RCP8.5 기후시나리오에 따른 오이과실파리 기후적합 정착위험도 지도

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable (적색), 0.50 - 9.99 = marginal (등색), 10 - 19.99 = suitable (베이지색), >20 = optimal (청색) and 100 = perfect)

#### (3) 오이과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

##### (가) 오이과실파리의 생활사

근래 이루어진 오이과실파리 생활사 자료는 "제3장 오이과실파리 예찰 생물정보"에서 자세히 기술되어 있다. 오이과실파리는 주로 어린과실의 표피를 뚫고 과실 내부에 40개 까지 알을 낳으며(CABI, 2017), 메론에서 100개 이상의 번데기가 발견되기도 하였었다(Vayssières et al., 2007). 그러나 기주식물에 따라 줄기나 꽃잎에 알을 낳기도 한다(Grant et al., 2017). 알은 1~2 일 내 부화하고 유충은 번데기가 되기 위하여 탈출할 때까지 과실 내부에서 4~17일간 섭식한다. 기주식물 아래 토양 속에서 번데기로 된 후 보통 7~13일후 성충으로 우화하는데, 서늘한 조건에서는 수 주가 걸릴 수 있다. 아열대지역에서 성충은 연중발생하며 우화 10~12 후 해질녘 교미하고 온도에 따라 차이는 있으나 5~15개월 생존한다(서늘한 경우 더 오래 생존)(Christenson and Foote, 1960; Clausen, 1978; Waterhouse, 1993). 성충은 Cue-lure에 유인되며 서식환경이 좋지 않은 겨울철에는 수풀과 나무의 마른 잎 밑에서 여러 마리가 집단으로 숨어서 지낸다(Dhillon et al., 2005). 이 종은 대기온도가 평균 14°C 이하가 되는 경우 페로몬 트랩에 잘 유인되지 않는다(Laskar and Chatterjee, 2010). 기존 문헌에 *Bactrocera* 속의 과실파리가 50~100 km 비행할 수 있다고 기술되어 있는데(Fletcher, 1989), 실험자료로 증명되지 않았으며 근거자료가 없다.

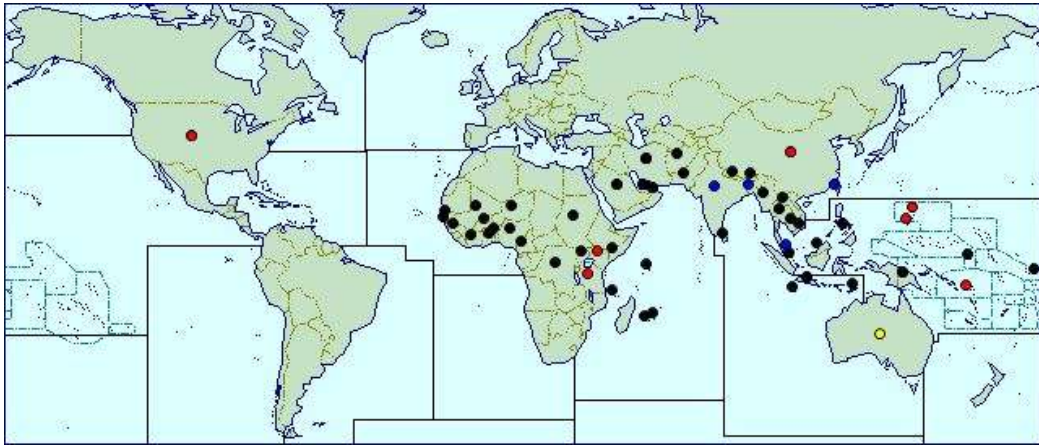
##### (나) 오이과실파리의 분포

오이과실파리는 동남아 열대지역 인도지역이 원산지로 추정되며 아프리카와 하와이 지역으로 분포가 확대된 것으로 보고 있다.

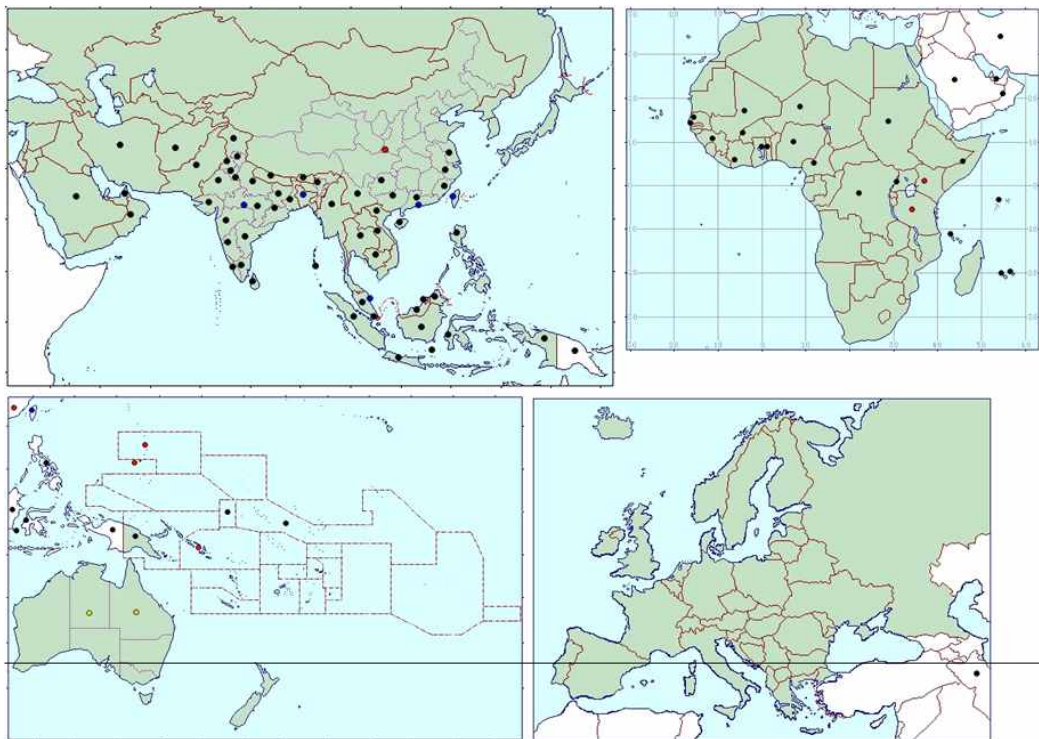
아프리카에서 첫 발견은 1930년대 초반이나 훨씬 이전 이미 이 지역 대륙에 정착하고 있던 것으로 추정된다. 아프리카 대륙에서 몇 십년간 동부지역에 제한적으로 분포하였으나, 최근에는 서부 아프리카와 서이첼(Seychelles) 제도 지역으로 확산되었다(Meyer et al., 2007)

하와이에서는 1890년대 처음 발견되었고, 서이첼에서는 1999년 11월 최초 검출되었다(Meyer et al., 2007). 오이과실파리는 마에(Mahe Island)에 빠르게 정착하였고, 그 후 에게 해 군도의 다른 섬들로 침입하였다(이상 CABI, 2017 참조)





(자료출처: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/17683>; CABI, 2017)



(주요 대륙의 세부분포 지도; CABI, 2017)

(자료출처: <http://www.cabi.org/cpc>, 2017)

대륙	국가	지역	분포
아시아	아프가니스탄		존재함
	방글라데시		널리 분포
	부탄		존재함
	브루나이		존재함
	캄보디아		존재함
	중국		제한적 분포
	→	푸젠	존재함
	→	광둥	존재함
→	광시	존재함	
→	구이저우	존재함	

→	하이난	존재함
→	홍콩	널리 분포
→	장쑤	존재함
→	윈난	존재함
→	저장	존재함
크리스마스 섬		존재함
동 티모르		존재함
인도		널리 분포
→	안다만 니코바르 제도	존재함
→	안드라프라데시	존재함
→	아삼	존재함
→	비하르	존재함
→	델리	존재함
→	구자라트	존재함
→	하리아나	존재함
→	히마찰 프라데시	존재함
→	편자브	존재함
→	잠무 카슈미르	존재함
→	카르나타카	존재함
→	케랄라	존재함
→	마디아 프라데시	존재함
→	마하라슈트라	존재함
→	오리사	존재함
→	라자스탄	존재함
→	타밀 나두	존재함
→	우타르 프라데시	존재함
→	우타라칸드	존재함
→	서 벵골	존재함
인도네시아		존재함
→	이리안 자야	존재함
→	자바	존재함
→	칼리만탄	존재함
→	누사텐가라	존재함
→	술라웨시	존재함
→	수마트라	존재함
이란		존재함
일본		박멸됨
→	류큐 제도	박멸됨
라오스		존재함
말레이시아		널리 분포
→	서 말레이시아	존재함
→	사바	존재함
→	사라왁	존재함

	미얀마	존재함
	네팔	존재함
	오만	존재함
	파키스탄	존재함
	필리핀	존재함
	사우디 아라비아	존재함
	싱가폴	존재함
	스리랑카	존재함
	대만	널리 분포
	태국	존재함
	아랍 에미리트	존재함
	베트남	존재함
아프리카	베닌	존재함
	부르키나파소	존재함
	카메룬	존재함
	코모로	존재함
	콩고	존재함
	코트디부아르	존재함
	감비아	존재함
	기니	존재함
	케냐	제한적 분포
	말리	존재함
	모리셔스	존재함
	니제르	존재함
	나이지리아	존재함
	레위니옹	존재함
	세네갈	존재함
	세이셸	존재함
	소말리아	존재함
	수단	존재함
	탄자니아	제한적 분포
	토고	존재함
우간다	존재함	
북미	미국	제한적 분포
	→ 캘리포니아	박멸됨
	→ 하와이	존재함
오세아니아	호주	존재, 가끔 발생
	→ 퀸즐랜드	존재, 가끔 발생
	괌	제한적 분포
	키리바시	존재함
	나우루	존재함
북 마리아나제도	제한적 분포	

	파푸아 뉴기니	존재함
	솔로몬 제도	제한적 분포

(다) 오이과실파리의 기주

오이과실파리의 감염, 피해가 확인된 기주 목록은 다음과 같다.

과	학명	일반명	일반명 (세부)
용설란과 (Agavaceae)	<i>Dracaena curtisii</i>	-	-
비름과 (Amaranthaceae)	<i>Amaranthus spinosus</i>	비름(amaranth) 일종	amaranth - pickly/spiny/thorny pigweed - spiny/thorny prince of Wales feather
수선화과 (Amaryllidaceae)	<i>Allium cepa</i>	양파(onion)	onion shallot
옷나무과 (Anacardiaceae)	<i>Anacardium occidentale</i>	캐슈넛(cashewnut)	cashew nut
	<i>Dracontomelon dao</i>	-	Argus pheasant tree
	<i>Mangifera indica</i>	망고(mango)	mango mango - common/Indian
	<i>Mangifera spp.</i>	-	-
	<i>Spondias purpurea</i>	카자(cajá) 멤빈(mombin) 일종	cajá mombin - purple/red plum - hog/Spanish
포포나무과 (Annonaceae)	<i>Annona biflora cinerea</i>	커스터드애플 (custard apple) 일종	-
	<i>Annona muricata</i>	가시여지(soursop) 그라비올라(graviola)	soursop graviola
	<i>Annona reticulata</i>	커스터드애플 (custard apple)	custard apple oxheart
	<i>Annona senegalensis</i>	커스터드애플 (custard apple) 일종	custard apple - wild
	<i>Annona squamosa</i>	슈가애플(sugarapple) 커스터드애플(custard apple)	custard apple sugar apple
	<i>Annona spp.</i>	-	-
협죽도과 (Apocynaceae)	<i>Carissa bispinosa</i>	-	hedgethorn
	<i>Landolphia sp.</i>	-	-
	<i>Ochrosia sp.</i>	-	-
	<i>Saba senegalensis</i>	-	-
천남성과 (Araceae)	<i>Anthurium sp.</i>	-	-

종려과 (Arecaceae)	Pheonix dactylifera	대추야자(date palm)	date date palm
	Phoenix spp.	-	-
국화과 (Asteraceae)	Helianthus annuus	해바라기(sunflower)	sunflower
매자나무과 (Berberidaceae)	Berberis lycium	-	-
	Podophyllum sp.	-	-
능소화과 (Bignoniaceae)	Crescentia spp.	-	-
십자화과 (Brassicaceae)	Brassica juncea	갓(leaf mustard)	mustard - brown/Chinese/Indian/leaf/vegetable
	Brassica oleracea	양배추(cabbage) 일종	cabbage - wild
	Brassica oleracea var. botrytis	꽃양배추(cauliflower)	cauliflower
	Brassica oleracea var. capitata	양배추(cabbage)	cabbage cabbage - red/Shetland/white
	Brassica oleracea var. gongylodes	콜라비(kohlrabi)	cabbage turnip kohlrabi turnip cabbage turnip kale
	Brassica oleracea var. italica	브로콜리(broccoli)	broccoli broccoli - asparagus/Cape/heading/sprouting/winter calabrese cauliflower - purple
	Brassica spp.	배추속(Brassica)	turnip - wild mustard - wild
	Raphanus sativus	무(radish)	radish radish - garden
	Raphanus sp.	-	-
선인장과(Cactaceae)	Hylocereus undatus	용과(dragon-fruit)	belle of the night dragon fruit moonlight cactus night - bloomingcereus queen of the night red pitaya strawberry - pear
	Opuntia ficus-indica	선인장(외래종)(prickly pear)	fig - barbary/Indian cactus - mission/spineless/tuna

			prickly pear prickly pear - mission/smooth h mountain/smooth/sweet/tub erous
	Opuntia sp.	-	-
칼로필룸과 (Calophylla ceae)	Calophyllum inophyllum	용화수(Alexandrian laurel)	Alexandrian laurel balltree beach calophyllum beach touriga beauty leaf Borneo mahogany Indian doomba oiltree Indian laurel laurel wood satin touriga tacamahac-tree
	Mammea africana	-	African mammee apple African apple African apricot bastard - mahogany
백계피과(Ca nellaceae)	Warburgia ugandensis	-	-
	Capparis sepiaria	-	-
	Capparis sepiaria var. citr ifolia	-	-
	Capparis thorelii	-	-
	Maeruasiensis	-	-
파파야과(Ca ricaceae)	Carica papaya	파파야(papaya)	papaya pawpaw
물레나물과 (Clusiaceae)	Garcinia spp.	-	-
사군자과(Co mbretacea e)	Terminalia catappa	카타파(tropical alm ond)	almond - country/Indian/Mal abar/sea/tropical
메꽃과(Conv olvulaceae)	Ipomoea batatas	-	-
박과 (Cucur bitaceae)	<i>Benincasa fistulosa</i>	박(gourd) 일종	gourd - round melon - round/squash
	<i>Benincasa hispida</i>	동아(winter melon)	gourd - ash/wax/white melon - Chinesepreserving/wi nter pumpkin - ash/white watermelon - Chinese
	<i>Citrullus amarus</i>	수박(citron melon) 일종	melon - citron/fodder/preser ving/stock/tsamma

<i>Citrullus colocynthis</i>	콜로신스(colocynth)	bitter apple colocynth cucumber - bitter gourd - wild vine of Sodom	
<i>Citrullus lanatus</i>	수박(watermelon)	melon - Afghan/bastard watermelon	
<i>Citrullus lanatus</i> subsp. <i>lanatus</i>	수박(watermelon) 일종	watermelon watermelon - dessert	
<i>Citrullus</i> sp.	-	-	
<i>Citrullus</i> spp.	-	-	
<i>Cocciniagrandis</i>	박(gourd) 일종	gourd - ivy/little	
<i>Coccinia trilobata</i>	-	-	
<i>Coccinia</i> spp.	-	-	
<i>Cucumis anguria</i>	-	-	
<i>Cucumis dipsaceus</i>	박(gourd) 일종	cucumber - hedgehog gourd - hedgehog/teasel	
<i>Cucumis ficifolius</i>	-	-	
<i>Cucumis maderaspatanus</i>	-	-	
<i>Cucumis melo</i>	멜론(melon)	melon	
<i>Cucumis melo</i> subsp. <i>melo</i> var. <i>cantalupo</i>	캔털루프(cantaloupe)	cantaloupe melon - musk/netted/nutmeg /Persian/rock	
<i>Cucumis melo</i> subsp. <i>agrestis</i> var. <i>conomon</i>	월과(oriental pickling melon)	melon - Oriental pickling/sweet cucumber - snake	
<i>Cucumis melo</i> subsp. <i>agrestis</i> var. <i>momordica</i>	-	melon - snap phoot	
<i>Cucumis melo</i> subsp. <i>melo</i>	참외(melon)	melon	
<i>Cucumis melo</i> subsp. <i>melo</i> var. <i>flexuosus</i>	-	cucumber - Armenian melon - serpent/snake	
<i>Cucumis melo</i> subsp. <i>melo</i> var. <i>inodorus</i>	-	melon - casaba/honeydew/winter	
<i>Cucumis metuliferus</i>	키와노(kiwano)	cucumber - African horned/horny melon - African horned/jelly kiwano	
<i>Cucumis sativus</i>	오이(cucumber)	cucumber	
<i>Cucumis sativus</i> var. <i>sativus</i>	오이(cucumber)	cucumber	

us		gherkin
Cucumis spp.	-	-
Cucurbita maxima	서양계 호박(squash)	gourd - red pumpkin pumpkin - great squash squash - winter
Cucurbita moschata	호박(pumpkin)	cushaw - golden gourd - red/Spanish/squash/ sweet pumpkin - butternut/calabaza /cheese squash squash - butternut/winter cro okneck
Cucurbita pepo	호박(marrow) 일종	gourd - bitter bottle marrow pumpkin squash squash - bush
Cucurbita pepo subsp. oviferavar. ovifera	색동호박(ornamental gourd)	gourd - ornamental squash - acorn/ford hook/pat typan/scallop/straightneck/su mmer crookneck/table queen
Cucurbita pepo subsp. pepo	주키니(zucchini)	cocozelle courgette marrow marrow-vegetable gourd-ornamental pumpkin squash-spaghetti
Cucurbita spp.	-	-
Cucurbitaceae	박과(Cucurbitaceae)	-
Cyclanthera pedata	카이구아(kaywa, caigua)	achocha caigua cucumber - stuffing/wild gourd - slipper/stuffing kaywa lady's slipper
<i>Diplocyclos palmatus</i>	-	cucumber - striped lollipop climber



Gymnopetalum scabrum	-	-
Kedrostis	-	-
Kedrostis leloja	-	-
Lagenaria amebicana	-	-
Lagenaria hispida	-	-
Lagenaria siceraria	호리병박(calabash)	calabash gourd - bottle/calabash/white flower
Lagenaria sphaerica	-	-
Lagenaria spp.	-	-
Luffa acutangula	비단 단호박(ridge gourd)	gourd - dishcloth/ribbed/ridge e/ridged/silky loofah - angled/ribbed okra - Chinese strainervine
Luffa aegyptiaca	수세미외(sponge gourd)	gourd - dishrag/sponge loofah loofah - smooth sponge - vegetable
Luffa spp.	-	-
Melothria sphaerocarpa	-	dark egusi egusiitoo white seed melon
Momordica balsamina	여주(balsam apple) 일종	balsam apple
Momordica charantia	여주(balsam apple)	balsam apple balsam pear cucumber - bitter gourd - bitter/carilla melon - bitter
<i>Momordica charantia</i> var. <i>pavel</i>	-	-
Momordicacochinchinensis	객(Gac)	balsam pear cucumber - Chinesebitter/Chi nese/spinybitter gac gourd - giantspine/sweet
<i>Momordica dioica</i>	-	spine gourd
<i>Momordica foetida</i>	-	-
<i>Momordica rostrata</i>	-	-
<i>Momordica trifoliolata</i>	-	-
Momordica sp.	-	-

	Momordica spp.	-	-
	Sechium edule	차요테(chayote)	chayote chocho christophine vegetablepear
	Sicyos hispidus	-	-
	Sicyos pachycarpus	-	-
	Sicyos sp.	-	-
	Sicyos spp.	-	-
	Solena amplexicaulis	-	-
	Solena heterophylla	-	-
	Telfairia occidentalis	-	gourd - fluted pumpkin - fluted
	Trichosanthes cucumerina	뱀오이(snake gourd) 일종	gourd - annual/snake
	<i>Trichosanthes cucumerina</i> var. <i>anguina</i>	뱀오이(snake gourd)	cucumber - serpent gourd - club/serpent/snake/viper's
	<i>Trichosanthes dioica</i>	-	-
	<i>Trichosanthes pilosa</i>	뱀오이(snake gourd) 일종	
	<i>Trichosanthes tricuspidata</i>	-	-
	<i>Trichosanthes wawraei</i>	-	-
	Trichosanthes spp.	-	-
	Zehneria mucronata	-	-
	Zehneria wallichii	-	-
감나무과(Ebenaceae)	<i>Diospyros digyna</i>	블랙 사포테(black sapote)	persimmon - black sapote - black
진달래과(Ericaceae)	<i>Vaccinium corymbosum</i>	블루베리	blueberry blueberry - American/highbush/swamp
대극과 (Euphorbiaceae)	Endospermum diadenum	-	-
	Euphorbia heterophylla	-	Mexicanfireplant milkweed paintedeuphorbia paintedspurge paintedleaf poinsettia - Japanese
	Jatropha sp.	-	-
	Ricinus communis	피마자(castor bean)	castor bean castor oilplant palma christi
콩과(Fabaceae)	Cajanus cajan	피전피(pigeon pea)	gram - red

ae)			pea - Congo/pigeon yellow dhal
	<i>Crotalaria incana</i>	-	rattlepod - silver/woolly
	<i>Crotalaria sp.</i>	-	-
	Fabaceae	-	-
	<i>Lablab purpureus</i>	편두(hyacinth bean)	bean - hyacinth/lablab
	<i>Lablab purpureus subsp.purpureus</i>	까치콩(hyacinth bean)	bean - bonavist/hyacinth/lablab
	<i>Phaseolus lunatus</i>	리마콩(limabean) 채두	bean - lima/butter/Sieva/sugar
	<i>Phaseolus vulgaris</i>	덩굴강낭콩(bean)	bean
	<i>Phaseolus sp.</i>	-	-
	<i>Phaseolus spp.</i>	-	-
	<i>Pisum sativum</i>	완두(pea)	pea
	<i>Sesbania grandiflora</i>	-	agati pea - WestIndian scarlet wistaria tree vegetable hummingbird
	<i>Sesbania spp.</i>	-	-
	<i>Vigna mungo var. mungo</i>	-	bean-mungo/urdu gram-black
	<i>Vigna radiata var. radiata</i>	-	-
	<i>Vigna unguiculata</i>	동부(cowpea)	bean - snake cowpea pea - Reeve's
	<i>Vigna unguiculata subsp. Unguiculata Sesquipedalis group</i>	동부(cowpea) 일종	-
	<i>Vigna unguiculata subsp. Unguiculata Unguiculata group</i>	동부(cowpea) 일종	cowpea pea - blackeyed/crowder/southern
	<i>Vigna sp.</i>	-	-
	<i>Vigna spp.</i>	-	-
가래나무과 (Juglandaceae)	<i>Juglans hindsii</i>	호두(walnut) 일종	walnut - Hind's/Hind's black/northern California black/northern California
	<i>Juglans regia</i>	호두(walnut) 일종	walnut walnut - Carpathian/English/Madeira/Persian
	<i>Juglans spp.</i>	-	-
꿀풀과(Lamiaceae)	<i>Ocimum basilicum</i>	바질(basil)	basil

aceae)			basil - sweet
	Ocimum sp.	-	-
으름덩굴과(Lardizabalaceae)	<i>Akebia quinata</i>	으름덩굴(five leaf akebia)	chocolat evine five leaf five leaf akebia
녹나무과(Lauraceae)	<i>Persea americana</i>	아보카도(avocado)	avocado
	<i>Persea</i> sp.	-	-
마전과(Loganiaceae)	<i>Strychnos nux-vomica</i>	마전자(nux vomica)	nux vomica strychine tree
	<i>Strychnos spinosa</i>	-	Kaffir orange monkey orange Natal orange spiny monkey ball
말피기과(Malpighiaceae)	<i>Malpighia glabra</i>	-	-
아욱과(Malvaceae)	<i>Abelmoschus esculentus</i>	오크라(okra)	gumbo lady's finger okra
	<i>Abelmoschus moschatus</i>	아욱(mallow) 일종	mallow - musk okra - musk tropical jewel hibiscus
멀구슬나무과(Meliaceae)	<i>Sandoricum koetjape</i>	산톨(santol) 일종	kechapi santol - red sentol
뽕나무과(Moraceae)	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	잭프루트(jackfruit)	jack jackfruit jak
	<i>Ficus carica</i>	무화과(fig)	fig fig - common
	<i>Ficus chartacea</i>	-	-
	<i>Ficus erecta</i>	천선과	-
	<i>Ficus pumila</i>	벽려모람(creepingfig) 일종	fig - climbing/creeping figvine rubber plant - creeping
	<i>Ficus</i> spp.	-	-
파초과(Musaceae)	<i>Musa ×paradisiaca</i>	바나나(banana)	banana plantain palntain - French
	<i>Musa acuminata</i>	바나나(banana) 일종	banana - Cavendish/Chinses/ dwarf
	<i>Musa</i> spp.	-	-
도금양과(Myrtaceae)	<i>Acca sellowiana</i>	페이조아(feijoa) 파인애플구아바(pine)	feijoa pineapple guava

		appleguava)	
	Eugenia uniflora	피탕가(pitanga) 수리남체리(surinam cherry)	cherry - Brazil/Surinam pitanga
	Eugenia spp.	-	-
	Psidium cattleianum	스트로베리구아바(st rawberry guava)	guava - cherry/strawberry
	Psidium cattleianum var. littorale	스트로베리구아바(st rawberry guava) 일종	guava - Chinese strawberry/str awberry/yellow Cattle/ yellow strawberry
	Psidium guajava	구아바(guava)	guava guava - common/lemon/yello w
	Psidium spp.	-	-
	Syzygium aqueum	워터애플(water app le)	bell fruit water apple watery rose apple
	Syzygium cuminii	-	-
	Syzygium ambos	로즈애플(rose appl e)	jambos Malabar plum rose apple
	Syzygium malaccense	말레이애플(Malay a pple)	Malay apple mountain apple Otaheite apple pink satin ash pomerac rose apple
	Syzygium samarangense	왁스잠부(wax jamb u)	Java apple Semarang rose apple wax jambu
팽이밥과(Ox alidaceae)	Averrhoa carambola	카람볼라(carambol a, starfruit)	carambola fiver corner starfruit
판다나과(Pa ndanaceae)	Pandanus fascicularis	-	padang
시계꽃과 (P assifloracea e)	<i>Adenia heterophylla</i>	-	-
	<i>Adenia hondala</i>	-	-
	Passiflora edulis	패션프루트(passion fruit)	granadilla - purple passionfruit - common
	Passiflora edulis forma fla vicarpa	패션프루트(passion fruit) 일종	passion fruit - yellow
	Passiflora foetida	시계초(passion flo wer)	granadilla - stinking love in a mist passionflower - mossy/stinkin

			g passionfruit - stinking/wild running pop waterlemon - wild
	Passiflora laurifolia	워터레몬(water lemon)	bell apple granadilla - yellow honeysuckle - Jamaica sweet cup water lemon
	Passiflora igularis	스위트 그라나딜라(sweet granadilla)	sweet granadilla
	Passiflora quadrangularis	자이언트 그라나딜라(giant granadilla)	granadilla - giant grenadine
	Passiflora seemanii	-	-
	Passiflora subpeltata	시계초(passion flower) 일종	passionflower - white passionfruit - white/wild passionvine - wild
	Passifloratripartita var. mollissima	바나나 시계초(banana passionflower)	bananadilla passionflower - banana passionfruit - banana poka - banana
	Passiflora spp.	-	-
여우주머니과(Phyllanthaceae)	Baccaurea angulata	-	red angle tampoi
화본과(Poaceae)	Zea mays	옥수수(maize)	corn - Indian maize
갈매나무과(Rhamnaceae)	Ziziphus jujuba	대추(Chinesedate, jujube)	Chinese date jujube Jujube - Chinese/common
	<i>Ziziphusjujuba</i> var. <i>jujuba</i>	-	-
장미과(Rosaceae)	Cydoniaoblonga	퀸스(quince)	quince
	Eriobotrya japonica	비파(loquat)	medlar - Japanese loquat
	Fragaria ×ananassa	딸기(strawberry)	strawberry - garden
	Fragaria chiloensis	딸기(strawberry) 일종	strawberry - beach/Chilean/Chiloe
	Fragaria vesca	딸기(strawberry) 일종	strawberry - alpine/European/wild/woodland
	Fragaria sp.	-	-
	Malus domestica	사과(apple)	apple
Malus pumila	사과(apple)	apple - paradise	

	<i>Malus sylvestris</i>	사과(apple)	apple - crab/European crab
	<i>Malus</i> spp.	-	-
	<i>Prunus armeniaca</i>	살구(apricot)	apricot apricot-Siberian
	<i>Prunus domestica</i> subsp. <i>domestica</i>	-	-
	<i>Prunus mume</i>	매실(Japanese apricot)	apricot - Japanese
	<i>Prunus persica</i>	복숭아(peach)	peach
	<i>Prunus persica</i> var. <i>nucipersica</i>	승도(nectarine)	nectarine
	<i>Prunus persica</i> var. <i>persica</i>	복숭아(peach)	peach
	<i>Prunus</i> spp.	-	-
	<i>Pyrus communis</i>	서양배(pear)	pear
	<i>Pyrus</i> spp.	-	-
꼭두서니과 (Rubiaceae)	<i>Coffea arabica</i>	커피(coffee)	coffee coffee - Arabian/Arabica
운향과(Rutaceae)	<i>Aegle marmelos</i>	벨(bael)	bael baelfruit - Indian belfruit golden apple quince - Bengal
	<i>Casimiroa edulis</i>	화이트사포테(white sapote)	casimiroa Mexican apple sapote - white
	<i>Citrus aurantium</i>	광귤(bitter orange)	bigarade orange - bitter/Seville/sour
	<i>Citrus hystrix</i>	캐피 라임(kaffir lime)	lime - kaffir Mauritius papeda
	<i>Citrus limon</i>	레몬(lemon)	lemon
	<i>Citrus maxima</i>	포멜로(pomelo)	pomelo pummelo shaddock
	<i>Citrus nobilis</i>	탄골(tangor)	King of Siam orange - king tangor
	<i>Citrus paradisi</i>	자몽(grapefruit)	grapefruit
	<i>Citrus reticulata</i>	만다린(mandarine)	mandarin mandarin - culate orange - mandarin/mandarine /Swatow tangerine

	Citrus sinensis	당귤, 오렌지(orange)	orange orange-blood/navel/sweet/Valencia
	Citrus spp.	-	-
	Clausena lansium	왓피(wampi)	clausena - Chinese wampi
	<i>Triphasia trifolia</i>	라임베리(limeberry)	lime berry
무 환 자 나무 과 (Sapinda ceae)	Blighia sapida	아기(akee)	akee akee apple
	<i>Dimocarpus longan</i>	용안(longan)	longan
	<i>Dimocarpus longan</i> subsp. <i>longan</i>	용안(longan)	longan
	Litchi chinensis	리치(litchi)	leechee litchi lychee
산 램 과 (Sapo taceae)	Chrysophyllum albidium	스타애플(star apple) 일종	star apple - wild
	Chrysophyllum cainito	스타애플(star apple)	cainito star apple
	Chrysophyllum oliviforme	스타애플(star apple) 일종	damson plum satinleaf starapple-wild
	Chrysophyllum sp.	-	-
	Manilkara zapota	사포딜라(sapodilla)	chicle naseberry sapodilla sapote
	Manilkara spp.	-	-
	Pouteria campechiana	카니스텔(canistel)	canistel gee fruit sapote-yellow
	Pouteria sapota	마미 사포테(mamme ee sapote)	marmaladepum sapote-mamme
	Pouteria spp.	-	-
	Capsicum annum	고추(pepper)	capsicum - red paprika pepper - Americanbird/bell/bi rd/capsicum/Cayenne/herry/c hili/cone/green/long/pimento/ redcone/red/sweet/turkey
Capsicum annum var. an num	고추(pepper) 일종	capsicum - green chile paprika pepper - bell/capsicum/Cayen ne/cherry/chili/cone/green/lo	



			ng/pimento/redcone/red/sweet
가지과 (Solanaceae)	Capsicum frutescens	고추(pepper)일종 타바스코(Tabasco pepper)	capsicum chili - red pepper - bird/hot/spur/Tabasco
	Capsicum spp.	-	-
	Cestrum nocturnum	야래향(night jessamine)	lady of the night jessamine - night
	Cestrum sp.	-	-
	Cestrum spp.	-	-
	Physalis philadelphica	토마틸로(tomatillo)	husk tomato tomatillo - largeflowered tomatillo ground cherry
	Solanum aethiopicum	가지(eggplant) 일종	egg - Chinesescarlet/scarlet eggplant - tomatofruit gilo kumba shum
	Solanum anguivi	-	-
	Solanum betaceum	타마릴로(tamarillo)	tamarillo tree tomato
	Solanum capsicoides	-	cockroach berry devil's apple
	Solanum donianum	-	-
	Solanum erianthum	-	eggplant - big flannel bush flowerleaf - China potatotree tobacco - wild
	Solanum incanum	-	Bitter apple thorn apple
	Solanum linnaeanum	-	Apple of Sodom black spine nights hade poison apple Sodom apple
	Solanum lycopersicum	토마토(tomato)	tomato
	Solanum lycopersicum var. cerasiforme	방울토마토(cherry tomato)	tomato - cherry
	Solanum lycopersicum var. lycopersicum	토마토(tomato)	tomato
Solanum macrocarpon	가지(eggplant) 일종	eggplant - African/gboma gboma	
Solanum mauritianum	-	Bugtree earleaf nightshade	

			tobacco - wild
	Solanum melongena	가지(eggplant)	aubergine eggplant eggplant - brinjal
	Solanum nigrum	까마중(black nightshade)	nightshade - black/blackberry /common poison berry
	Solanum pseudocapsicum	예루살렘체리(Jerusalem cherry)	capsicum - false cherry - Madeira/Madeirawinter/winter Jerusalem cherry Jerusalem cherry - false
	Solanum sessiliflorum	-	corona Orinoco apple tomato - peach
	Solanum subsect. Lycopersicon sp.	-	-
	Solanum trilobatum	-	-
	Solanum tuberosum	감자(potato)	potato
	Solanum tuberosum subsp. tuberosum	감자(potato) 일종	potato potato - Irish/white
	Solanum spp.	-	-
물이끼과(Sphagnaceae)	Sphagnum sp.	-	-
포도과(Vitaceae)	Cayratia trifolia	거지덩굴 일종	three leaf cayratia water vine-slender
	Tetrastigma leucostaphyllum	-	-
	Vitis vinifera	유럽종 포도(grape)	grape grape - European grape vine grape vine - common
	Vitis spp.	-	-

#### (라) 오이과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

곤충은 전형적인 변온동물로 온도에 따라 발육이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기온도에 의해 영향을 받으며, 다만 번데기 단계는 토양 내에서 경과함으로 토양온도의 지배를 받는다. 따라서 발육을 진행할 수 있는 최저온도의 개념인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온량을 적산하여(적산온도, degree-days, DD) 생활사의 경과를 예측할 수 있다. 기존에 알려진 오이과실파리의 발육영점온도는 8.1°C이다(Keck, 1951). 알의 발육영점온도와 발육상한온도는 각각 11.4와 36.4°C로 보고되어 있다(Messenger and Flitters, 1958). 기타 발육영점온도는 유충 12°C, 용 14°C이며, 발육 상한 온도는 각각 34~40°C, 34°C, 32~35°C로(Robinson and Hooper, 1989) 보고하고 있으나 과거자료를 기반으로 하고 있다.

발육영점온도와 유효적산온도는 해충의 온도에 따른 발육기간 자료를 이용하여 추정할 수 있다. 현재 이용 가능한 지중해과실파리의 온도발육자료는 표 3-1과 같다. 실험지역 및 기주식물에 따라 다소 발육기간과 산란수에 차이가 있으며, 이 자료를 종합하여 오이과실파리 각 발육단계별 발육영점온도와 적산온도를 추정한 결과는 표 3-2에 제시되어 있다. 이 자료는 포장에서 예찰 작업시 특정 발육단계의 발육완료를 추정하는데 활용할 수 있다.

오이과실파리 박멸과정에서 최종발견 후 발생 세대수에 따라서 대응조치를 달리하게 되는데, 세대수는 세대기간 완료에 필요한 발육영점온도와 유효적산온도를 이용하여 추정할 수 있다. 기존자료를 종합하여 추정한 값은 생명표 통계량의 세대기간을 기준으로 했을 때 각각 8.7°C와 720.9 DD이다. 이 값은 평균세대기간을 나타내는 것으로 알-알기간의 세대기간보다 다소 길어질 수 있다. 알-알 세대기간은 가장 빨리 진행되는 세대의 출현을 예측하는데 적용할 수 있는데 각각 9.8°C와 562.5 DD이다. 이 매개변수를 세대수 추정에 우선적으로 사용할 수 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며 따라서 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 번데기의 경우 토양에서 존재하기 때문에 토양온도가 필요하지만 생육기에는 대기 온도와 큰 차이가 없으므로 대기온도만을 이용하여 세대완료를 추정할 수 있다. 최종 발견일 다음날부터 적산온도를 계산하여 562.5 DD(발육영점온도 9.8°C 적용) 되는 날이 1 세대가 완료되는 날이다(562.5 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

오이과실파리는 원산지 열대 및 아열대 지역에서는 연중 발생하는 해충으로 성충은 서식환경이 좋지 않은 겨울철에는 수풀과 나무의 마른 잎 밑에서 여러 마리가 집단으로 숨어서 지낸다(Dhillon et al., 2005). 성충은 온도에 따라 5개월에서 15개월 간 생존할 수 있다(Christenson and Foote, 1960; Clausen, 1978; Waterhouse, 1993).

발생세대수 추정을 하는 동안 겨울철과 만나는 경우 적산온도가 누적되지 않기 때문에 진행되고 있는 세대가 다음연도로 넘어가서 완료될 수 있다. 이런 경우 현장조사 활동은 발생세대수가 아닌 평균 대기온도를 기준으로 결정한다.

오이과실파리 페로몬 트랩에 대기온도가 평균 14°C 이하가 되는 경우 잘 유인되지 않는다

(Laskar and Chatterjee, 2010). 성충비행활동 임계온도로 확실치 않으나 연속적으로 4일 이상 일평균대기온도가 14°C 이하로 내려가면 조사를 중단할 수 있다. 또한 연속적으로 4일 이상 일평균 대기온도가 14°C 이상 올라가면 조사를 재개한다. 조사를 재개한 경우 전년도(또는 이전)부터 이어서 계산한 적산온도에 근거한 세대수에 따라 현장조사의 의사를 결정한다. 노지작물에서는 겨울동안 조사중지가 가능하지만 시설재배(특히 가온재배)의 작물은 상황에 따라 위험도를 평가하여 조사를 계속 실시한다.

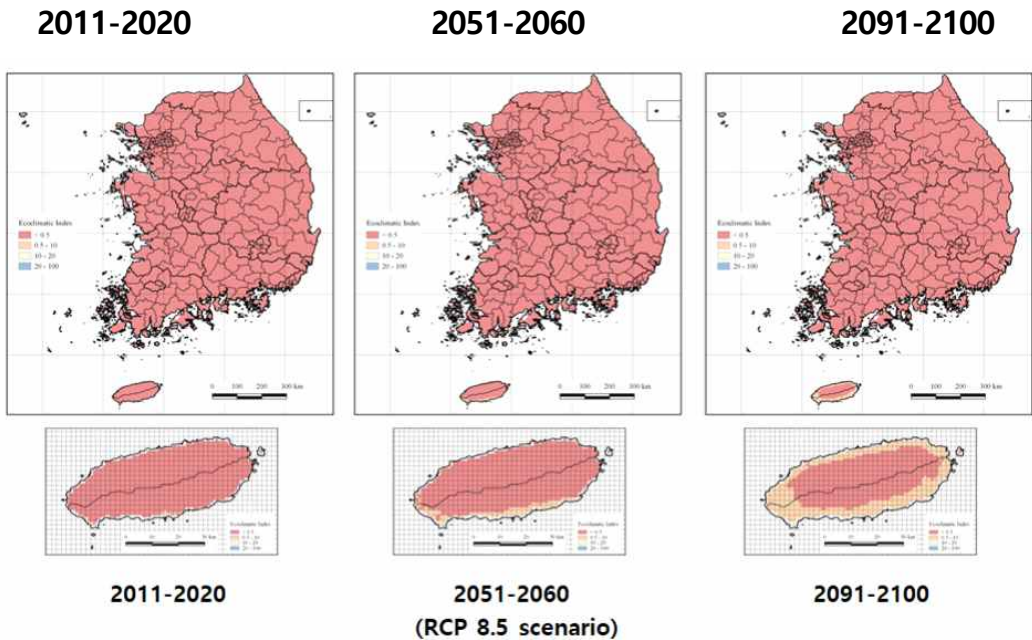
바. 칼람볼라과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

(1) CLIMEX 모형 이용 카람볼라과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 오리엔탈과실파리의 기존값을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

<칼람볼라과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>

매개변수	추정값	매개변수	추정값
DV0	11.8	TTCSA	-
DV1	25	THCSA	-
DV2	33	TTHS	35
DV3	35	THHS	0.005
SM0	0.1	DTHS	-
SM1	0.25	DHHS	-
SM2	1	SMDS	0.1
SM3	1.6	HDS	-0.03
TTCS	-	SMWS	1.6
THCS	-	HWS	0.001
DTCS	8	DVCS	10
DHCS	-0.0035	DVHS	35
PDD	384.6		



RCP8.5 기후시나리오에 따른 칼람볼라과실파리 기후적합 정착위험도 지도

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable, 0.50 - 9.99 = marginal, 10 - 19.99 = suitable, >20 = optimal and 100 = perfect)

(2) 칼람볼라과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 카람볼라과실파리의 생활사

카람볼라과실파리 *Bactrocera carambolae*는 오리엔탈과실파리 복합종 *Bactrocera dorsalis* complex의 일종으로 포함되어 왔으며, 현재 독립된 종으로 취급하고 있다.

Chua(1992)는 말레이시아에서 발견된 *Bactrocera* 속 과실파리 일종을 Mal A로 임시로 명명하여 특성을 기재하였고, 그 후에 이 종이 *B. carambolae*로 확인되었으므로 Mal A에 대한 데이터도 카람볼라과실파리 자료로써 판단할 수 있다.

카람볼라과실파리 성충은 기주식물 껍질 아래 알을 낳으며, 보통 하루만에 부화하는데 저온 조건에서는 20일까지 소요된다(Garcia 2009; CABI, 2017). 온도에 따른 발육기간은 15°C 5.5일, 20°C 2.9일, 25°C 1.7일, 27°C 1.4일, 30°C 1.2일, 35°C 1.1일 이다(Danjuma et al., 2014).

유충기간은 6~35일(CABI, 2017)로 온도에 따라 변이가 크며, 적온에서 유충기간은 6~9일이 된다(Garcia, 2009). 온도에 따른 유충발육기간은 15°C 29.0일, 20°C 13.3일, 25°C 7.8일, 27°C 7.1일, 30°C 6.7일, 35°C 6.1일 이다(Danjuma et al., 2014).

용기간은 보통 10~12일이나 저온에서 90일까지 지연될 수 있으며(CABI, 2017), 적온에서는 8~9일이 된다(Garcia, 2009). 온도에 따른 번데기 발육기간은 15°C 30.1일, 20°C 14.3일, 25°C 10.5일, 27°C 8.8일, 30°C 7.7일이며 35°C에서는 불가능하다(Danjuma et al., 2014).

성충은 연중 발생하며 산란전기간은 8~12일, 생존기간은 1~3개월이나 저온에서는 최대 12개월까지 가능하다(CABI, 2017). 그러나 CABI (2017) 의 자료는 Christenson and Foote(1960)의 *B. dorsalis*에 대한 기록에서 유래한 것으로 정확성이 떨어진다.

카람볼라과실파리 암컷성충의 수명과 산란수에 대한 다양한 보고가 존재한다(Chua, 1991; Garcia, 2009). Chua(1991)가 Mal A 계통을 이용한 실험에서 구아바와 카람볼라를 먹이로 한 경우 암컷 수명이 각각 63.3일, 74.1일, 산란수는 각각 363.2, 659.5개 이었다. 적합한 환경조건(26°C, 70% RH)에서는 카람볼라과실파리는 22일 내에 생활사를 완료할 수 있으며, 생애 동안 1,000개 이상 산란하고, 산란전기간은 10일, 수명은 30~60일 이다(Garcia, 2009).

Hadi et al.(2013)와 Ndi et al.(2016)은 *B. carambolae*의 실내실험에서 각각 682.93개, 665.13개의 산란수를 얻었고, Hadi et al.(2013)은 산란전기간이 10일에 달한다고 하였다(시험온도 불명).

인도네시아에서 Himawan et al.(2012)이 인공먹이를 이용 27~33°C에서 사육한 결과 산란전기간은 6~7일 산란수는 297~643개로 나타났다(표 3-1).

표 3-1. 카람볼라과실파리의 발육과 온도와의 관계 : 발육기간, 수명, 산란수

온도 (°C)	발육기간 (d)				성충			먹이	지역	인용문헌
	알	유충	용	알~성충 기간	산란전 기간	암컷 수명	산란수			
15	5.5	29.0	30.1	64.6				구아바	Thailand	Danjuma et al., 2014
20	2.9	13.3	14.3	30.4				구아바	Thailand	Danjuma et al., 2014
25	1.7	7.8	10.5	19.9				구아바	Thailand	Danjuma et al., 2014
27	1.4	7.1	8.8	17.3				구아바	Thailand	Danjuma et al., 2014
30	1.2	6.7	7.7	15.5				구아바	Thailand	Danjuma et al., 2014
28-30						75 ~115	86.4 ~477.5	인공먹이	Malaysia	Chua, 1992
27-33	2	6.3	8.1		6	37.6	643.33	인공먹이	Indonesia	Himawan et al., 2012
27-33	2	7.5	8.3		7	29.9	324.37	인공먹이	Indonesia	Himawan et al., 2012
27-33	2	8.2	8.4		6	23.5	296.67	인공먹이	Indonesia	Himawan et al., 2012
35	1.1	6.1	-	-				구아바	Thailand	Danjuma et al., 2014

카람볼라과실파리 개체군 증가에 중요한 영향을 미치는 요인은 강우와 먹이자원의 양으로

알려져 있다(Chua and Khoo, 1995). 먹이량이 풍부할 때 우량한 암컷(크기가 큰 암컷)이 생성되고 산란수가 증가한다. 또한 카람볼라과실 과실 크기(길이)가 3~3.9cm 인 경우 산란수 9.3개로부터 10~10.9cm 35.3개까지 먹이량에 따라 산란수에 큰 차이가 있다(Chew, 1992).

(나) 카람볼라과실과리의 분포

카람볼라과실과리는 동남아시아의 인도네시아, 말레이시아, 태국 원산으로 남침입지역인 아메리카 대륙에서는 1975년 수리남의 파라마리보(Paramaribo)에서 처음 발견되었다(Godoy, 2006; van Sauers-Muller, 1991; 2008). 그 후 남아메리카 북부지역에 위치하고 있는 수리남(Suriname), 프랑스령 가이아나(Guiana), 브라질 북부 등 지역으로 확산되어 발생되고 있다(White et al., 1992).

○ 카람볼라과실과리 분포지역(CABI, 2017)

대륙	국가/지역	분포상황
아시아 (Asia)	브루나이 (Brunei Darussalam)	존재
	인도 (India)	제한적으로 분포
	- 안다만니코바르제도 (Andamanand Nicobar Islands)	존재
	인도네시아 (Indonesia)	제한적으로 분포
	- 자바 (Java)	존재
	- 칼리만탄 (Kalimantan)	존재
	- 누사텡가라 (Nusa Tenggara)	존재
	말레이시아 (Malaysia)	존재
	- 서말레이시아 (Peninsular Malaysia)	존재
	- 사바 (Sabah)	존재
	싱가포르 (Singapore)	존재
	태국 (Thailand)	제한적으로 분포
남미 (South America)	브라질 (Brazil)	제한적으로 분포
	- 아마파 (Amapa)	제한적으로 분포
	프랑스령 기아나 (French Guiana)	제한적으로 분포
	가이아나 (Guyana)	박멸
	수리남 (Suriname)	제한적으로 분포

카람볼라과실과리는 기후적으로 중앙 및 남아메리카의 열대와 아열대지역, 사하라 이남 아프리카, 인도 동서부 해안지역, 호주 북부지역 등이 정착 적합력이 높은 것으로 추정되었다(Marchioro, 2016 : MaxEnt-모형).

○ 카람볼라과실과리 분포지역 좌표(Marchioro, 2016)

위도	경도	지역	기원
----	----	----	----

-8.740	117.533	Sumbawa Regency, Indonesia	원산지
-8.511	118.648	Bontokape, Indonesia	원산지
-8.500	115.489	Lombok, Indonesia	원산지
-7.492	110.004	Wonosobo Regency, Java	원산지
-7.000	110.000	Gringsing, Batang Regency, Indonesia	원산지
-6.910	107.610	West Java, Indonesia	원산지
-6.598	106.799	Bogor, Indonesia	원산지
-2.190	113.540	Palangkaraya, Indonesia	원산지
1.349	103.837	Pierce Lake, Singapore	원산지
2.500	103.200	Labis, Malaysia	원산지
2.967	101.867	Selangor Malaysia	원산지
3.030	101.750	Balakong, Malaysia	원산지
3.104	101.661	Kuala Lumpur, Malaysia	원산지
3.200	101.300	Kapar, Malaysia	원산지
3.900	101.410	Trolak, Malaysia	원산지
4.020	101.010	Teluk Intan, Malaysia	원산지
4.500	114.667	Belait, Brunei Darussalam	원산지
4.520	115.000	Limbang, Malaysia	원산지
4.583	101.083	Ipoh, Malaysia	원산지
5.450	116.000	Tambunan, Malaysia	원산지
5.500	117.000	Kinabatangan, Malaysia	원산지
5.543	101.342	Belum Perak, Malaysia	원산지
6.080	116.160	Kota Kinabalu, Malaysia	원산지
6.833	100.667	Songhkla, Thailand	원산지
9.300	98.990	Tha Chang, Thailand	원산지
10.100	98.750	Ranong, Thailand	원산지
12.150	92.750	Andaman Islands	원산지
15.167	105.167	Ubon Ratchathani, Thailand	원산지
16.167	107.833	Thua Thien Hue, Vietnam	원산지
22.340	88.220	Abhirampur, India	원산지
0.000	-51.283	Mazagão, Brazil	침입지역
0.000	-51.167	Santana, Brazil	침입지역
3.817	-51.886	Sant-Georges, French Guiana	침입지역
3.883	-51.833	Sant-Georges, French Guiana	침입지역
4.000	-53.250	Saül, French Guiana	침입지역
4.317	-52.133	Regina, French Guiana	침입지역
4.583	-52.467	Roura, French Guiana	침입지역
4.733	-52.333	Roura, French Guiana	침입지역
5.200	-57.167	Apoera, Suriname	침입지역
5.217	-57.183	Apoera, Suriname	침입지역
5.417	-55.333	Para, Suriname	침입지역
5.583	-56.250	Coronie, Suriname	침입지역
5.667	-55.583	Saramacca, Suriname	침입지역
5.867	-55.167	Paramaribo, Suriname	침입지역

(다) 카람볼라과실파리의 기주

카람볼라과실파리는 카람볼라(*Averrhoa carambola*) 과실의 심각한 해충으로 알려져 있으나, 망고 등 다양한 기주식물을 가해한다(CABI, 2017). 제시된 기주식물목록은 선호성이 높은 기주식물부터 드물게 우발적으로 가해하는 기주식물이 모두 포함되어 있다.

남아메리카 수리남지역에서 기주식물 조사결과 20종의 식물이 심하거나 간헐적으로 피해를 받는 것으로 나타났으며, 감귤류는 그레이프프루트( grapefruit, *Citrus paradisi* Macf.)을 제외하고는 중요한 기주로서 역할을 하지 못하였다(van Sauers-Muller, 2005). 이 보고서에 유충이 발견되지 않은 기주목록이 포함되어 있으므로 국내 기주와 비교하는데 도움이 될 수 있다.



○ CABI(2017)와 van Sauers-Muller (2005)의 기주목록

과명	종명	일반명		기주등급
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	cashew nut	캐슈넛	비주요기주 (기생율<10%)
	<i>Mangifera indica</i>	mango	망고	주요기주 (기생율≥10%)
Anacardiaceae	<i>Spondias dulcis</i> (= <i>Spondias cytherea</i> )	golden apple, pomme de cythere, otaheite apple	암바렐라	비주요기주 (기생율<10%)
	<i>Spondias mombin</i>	hog plum	호그플럼	비주요기주 (기생율<10%)
	<i>Spondias purpurea</i>	red mombin	호코테	비주요기주 (성충X)
Annonaceae	<i>Annona montana</i>	mountain soursop	산가시여지	비주요기주 (유충X)
	<i>Annona muricata</i>	soursop	가시여지	비주요기주 (유충X)
	<i>Rollinia pulchrinervis</i>	-		기주 (기생율자료 없음)
Apocynaceae	<i>Ambelania acida</i>	batbati		비주요기주 (성충X)
	<i>Thevetia peruviana</i>	exile tree	노랑(페루협죽도)	비주요기주 (유충X)
Arecaceae	<i>Arenga pinnata</i>	sugar palm	사탕야자	기주 (기생율자료 없음)
Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i>	pine apple	파인애플	비주요기주 (성충X)
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	pawpaw	파파야	비주요기주 (성충X)
Clusiaceae	<i>Garcinia mangostana</i>	mangosteen	망고스틴	기주 (기생율자료 없음)
Combretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	Singapore almond	열대아몬드	주요기주 (기생율≥10%)
Euphorbiaceae	<i>Amanoa guianensis</i>	swampoe-goejaba		비주요기주 (성충X)
	<i>Manihot esculenta</i>	cassava	카사바	비주요기주 (성충X)
Flacourtiaceae	<i>Casearia mariquitensis</i>	oema-odoe		비주요기주 (성충X)
	<i>Flacourtia jangomas</i>	babydruiif	커피플럼	비주요기주 (성충X)
Guttiferae	<i>Garcinia dulcis</i>	moendoe	몽두 망고스틴	주요기주 (기생율≥10%)
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	avocado	아보카도	비주요기주 (유충X)
Lecythidaceae	<i>Couratari</i> sp.	ingipipa		비주요기주 (성충X)
Malpighiaceae	<i>Malpighia glabra</i>	acerola	아세롤라	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Malpighia puniceifolia</i>	West-India n cherry	서인도체리	주요기주 (기생율≥10%)

과명	종명	일반명		기주등급
Melastomataceae	<i>Bellucia grossularioides</i>	mispel		비주요기주 (성충X)
	<i>Loreya mespiloides</i>	mispel		비주요기주 (성충X)
	<i>Mouriria collocarpa</i>	spikri-oed oe		비주요기주 (성충X)
	<i>unknown</i>	mispel		비주요기주 (성충X)
Meliaceae	<i>Lansium domesticum</i>	langsat	랑사트	기주 (기생율자료 없음)
Mimosaceae	<i>Inga acrocephala</i>	swit-bonki , kala-weko		비주요기주 (성충X)
	<i>Inga alba</i>	swit-bonki		비주요기주 (성충X)
	<i>Inga leiocalycina</i>	swit-bonki		비주요기주 (성충X)
	<i>Inga sa.</i>	swit-bonki		비주요기주 (성충X)
	<i>Inga spp.</i>	swit-bonki		비주요기주 (성충X)
Moraceae	<i>Artocarpus communis</i> (= <i>Artocarpus altilis</i> )	breadfruit	빵나무	비주요기주 (유충X)
	<i>Artocarpus elasticus</i>	-		기주 (기생율자료 없음)
	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	jackfruit	잭프루트	비주요기주 (유충X)
	<i>Artocarpus integer</i>	champead ak	첼페닥	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Artocarpus odoratissimus</i>	tarap	마랑	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Artocarpus rigidus</i>	monkey jackfruit		기주 (기생율자료 없음)
Myrtaceae	<i>Eugenia cf patrisii</i>	boskers		주요기주 (기생율≥10%)
	<i>Eugenia stipitata</i>	araca boi	아라카 보이	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Eugenia uniflora</i>	Surina cherry	수리남체리	주요기주 (기생율≥10%)
	<i>Psidium cattleianum</i>	strawberry guava	스트로베리 구아바	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Psidium guajava</i>	guava	구아바	비주요기주 (기생율<10%)
	<i>Syzygium aqueum</i>	watery rose-apple	워터애플	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Syzygium jambos</i>	rose apple	로즈애플	주요기주 (기생율≥10%)
	<i>Syzygium malaccense</i>	Malay apple	말레이 애플	주요기주 (기생율≥10%)
	<i>Syzygium samarangense</i>	water	왁스잡부	주요기주

과명	종명	일반명		기주등급
		apple		(기생율 ≥ 20%)
Oxalidaceae	<i>Averrhoa bilimbi</i>	bilimbi	빌림비	비주요기주 (유충X)
	<i>Averrhoa carambola</i>	carambola	스타프루트	주요기주 (기생율 ≥ 20%)
Palmae	<i>Bactris gasipaes</i>	paripoe	복숭아야자	비주요기주 (성충X)
	unknown	palmfruit		비주요기주 (성충X)
Papilionaceae	<i>Swartzia amshoffiana</i>	-		비주요기주 (성충X)
Phyllanthaceae	<i>Baccaurea motleyana</i>	rambai	람바이	기주 (기생율자료 없음)
Punicaceae	<i>Punica granatum</i>	pomegranate	석류	비주요기주 (유충X)
Rhamnaceae	<i>Ziziphus jujuba</i>	common jujube	대추	주요기주 (기생율 ≥ 10%)
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora</i>	mangrove		기주 (기생율자료 없음)
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i>	genipap, tapoeripa	자규아	비주요기주 (유충X)
Rutaceae	<i>Citrofortunella mitis</i>	calamondin	칼라만시	기주 (기생율자료 없음)
Rutaceae	<i>Citrus aurantiifolia</i>	lime	라임	비주요기주 (유충X)
	<i>Citrus grandis</i>	pummelo	포멜로	비주요기주 (성충X)
	<i>Citrus limon</i>	lemon	레몬	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Citrus limonia</i>	mandarin lime	랑푸르	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Citrus reticulata</i>	mandarin	만다린	비주요기주 (기생율 < 10%)
	<i>Citrus sinensis</i>	navel orange	오렌지	비주요기주 (기생율 < 10%)
	<i>Citrus x paradisi</i>	grapefruit	자몽	비주요기주 (기생율 < 10%)
	<i>Fortunella margarita</i>	oval kumquat	금감	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Triphasia trifolia</i>	limeberry	라임베리	비주요기주 (유충X)
Sapindaceae	<i>Blighia sapida</i>	akee	아키	비주요기주 (성충X)
Sapotaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i>	icaco plum	코코플럼	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Chrysophyllum cainito</i>	caimito	스타애플	비주요기주 (기생율 < 10%)
	<i>Manikara achras</i>	sapodilla		비주요기주 (기생율 < 10%)
	<i>Manilkara zapota</i>	sapodilla	사포딜라	기주 (기생율자료 없음)
	<i>Mimusops elengi</i>	spanish cherry		기주 (기생율자료 없음)
	<i>Pouteria campechiana</i> (= <i>Lucuma nervosa</i> )	canistel, eggfruit	카니스텔	비주요기주 (성충X)

과명	종명	일반명		기주등급
	<i>Pouteria macrophylla</i>	-		비주요기주 (성충X)
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i>	bell pepper	고추	기주 (기생물자료 없음)
	<i>Capsicum chinense</i>	habanero pepper	하바네로 칠리	기주 (기생물자료 없음)
	<i>Solanum ferox</i> (= <i>Solanum lasiocarpum</i> )	-		기주 (기생물자료 없음)
	<i>Solanum lycopersicum</i> (= <i>Lycopersicon esculentum</i> )	tomato	토마토	비주요기주 (유충X)

(라) 칼람볼라과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

변온동물인 곤충은 온도에 따라 발육기간이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기 온도에 의해 영향을 받는다. 다만, 번데기 단계 기간은 토양 내에서 경과하므로 토양온도의 영향을 받는다. 곤충은 일정한 범위의 온도에서만 발육이 가능하다. 따라서 발육이 가능한 최저 온도인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온도(적산온도, degree-days, DD)을 추정하여 세대경과를 예측할 수 있다.

발육영점온도와 적산온도는 온도에 따른 발육기간에 대한 실험적 자료를 이용하여 추정한다. 표 3-1은 항온조건에서 칼람볼라과실파리의 발육기간을 보여주는 자료이다. 발육기간에 역수를 취하여 발육률로 변환시켜 종속변수(y)로 사용하고, 온도를 독립변수(x)로 취급하여 선형모형을 추정한다( $y=ax+b$ ). 이 선형모형에서 발육영점온도는  $-a/b$ 가 되며, 적산온도는  $1/a$ 가 된다.

칼람볼라과실파리 각 발육단계별 발육영점온도와 적산온도를 추정한 결과는 표 3-2에 제시되어 있다. 이 자료는 포장에서 예찰 작업시 특정 발육단계의 발육완료를 추정하는데 활용할 수 있다.

칼람볼라과실파리 침입후 발견 또는 박멸과정에서 발생세대수 추정은 의사결정을 위한 중요한 정보이다. 즉 상황에 따라 발생 세대기간에 따른 대응조치를 달리 적용한다. 이 때 각 발육단계의 발육영점온도와 적산온도를 이용하여 순차적으로 적산온도를 계산하여 세대기간을 추정할 수 있다. 즉 알, 유충, 번데기, 산란전기간이 완료되면 1세대가 완성되는 것으로 판단한다. 하지만, 이 방법은 정확할 수는 있으나 계산이 복잡하고 번데기 발육을 추정하기 위한 토양온도가 필요하기 때문에 현장에서 실용성이 떨어진다.

대체 방법으로 알-알기간의 세대기간을 적용할 수 있다. 알-알 세대기간의 발육영점온도 11.8°C와 적산온도 384.6 DD를 이용한다. 이 방법은 대기온도자료만을 이용하여 신속하고 간편하게 칼람볼라과실파리 발생 세대수를 추정할 수 있는 장점이 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대(기상청)의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

표 3-2. 발육단계별 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도

발육 단계	온도발육 선형모형			발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)
	회귀식(y: 발육율, x: 온도)	df	R <sup>2</sup>		
알	$y = 0.0388x - 0.3852$	5	0.96	9.9	25.8
유충	$y = 0.0068x - 0.0574$	8	0.87	8.4	147.1
번데기	$y = 0.0058x - 0.0503$	8	0.99	8.7	172.4
산란전기간	$y = 0.0114x - 0.1694$	5	0.99	14.9	87.7
알-알기간	$y = 0.0026x - 0.0307$	4	0.996	11.8	384.6

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며, 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 대기온도가 발육영점온도보다 낮은 경우 일유효온도는 “0”를 적용한다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 번데기의 경우 토양에서 존재하기 때문에 토양 온도가 필요하지만 생육기에는 대기 온도와 큰 차이가 없으므로 대기온도만을 이용하여 세대 완료를 추정할 수 있다. 최종 발견일(또는 최초발견일) 다음날부터 적산온도를 계산하여 384.6 DD(발육영점온도 11.8°C 적용) 되는 날이 1 세대가 완료되는 날이다(384.6 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

발생세대수 추정을 하는 동안 겨울철과 만나는 경우 적산온도가 누적되지 않기 때문에 진행되고 있는 세대가 다음연도로 넘어가서 완료될 수 있다. 이런 경우 현장조사 활동의 중단은 발생세대수가 아닌 평균 대기온도를 기준으로 결정한다. 아직 온도와 카람볼라과실파리 비행에 대한 자료가 없으므로 유사종인 오리엔탈과실파리의 매뉴얼을 따라 결정한다. 즉, 성충비행활동 임계온도로 10°C를 적용하여 연속적으로 4일 이상 일평균대기온도가 10°C 이하로 내려가면 조사를 중단할 수 있다. 또한 연속적으로 4일 이상 일평균 대기온도가 10°C 이상 올라가면 조사를 재개한다. 조사를 재개한 경우 전년도(또는 이전)부터 이어서 계산한 적산온도에 근거한 세대수에 따라 현장조사의 의사를 결정한다.

노지작물에서는 겨울동안 조사중지가 가능하지만 시설재배(특히 가온재배 온실)의 작물은 상황에 따라 위험도를 평가하여 조사를 계속 실시한다.

참고자료 : 칼람볼라과실과리 유충이 발견되지 않은 식물 목록(van Sauers-Muller, 2005)

과명	종명	일반명
Anacardiaceae	<i>Pistachia vera</i>	pistache
	<i>Tapirira guianensis</i>	tapiriri
	<i>Tapiriri</i> sp.	-
Annonaceae	<i>Anaxagorea dolichocarpa</i>	boesi-soensaka
	<i>Annona reticulata</i>	Bullock's heart, kasjoema
	<i>Annona sericea</i>	boesi-soensaka
	<i>Annona</i> spp.	-
	<i>Annona squamosa</i>	sugar apple, kaneelappell
	<i>Duguetia calycina</i>	boesi-soensaka
	<i>Fusaea longifolia</i>	panta
	<i>Guatteria scandens</i>	kofibali
Apocynaceae	<i>Stemmadenia grandiflora</i> (= <i>Tabernaemontana grandiflora</i> )	-
	<i>Tabernaemontana heterophylla</i>	merki-tite
	<i>Tabernaemontana</i> sp.	-
Arecaceae	<i>Montrichardia arborescens</i>	moko-moko
	unknown	-
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i>	koesoewe
Bombacaceae	<i>Bombax flaviflorum</i>	sabana katoen
	<i>Bombax globosum</i>	boesikatoen
	<i>Bombax surinamense</i>	kapok
	<i>Cordia sericicalyx</i>	tafrabong
	<i>Cordia tetrandra</i>	tafrabong
Bromeliaceae	<i>Bromelia</i>	-
Burseraceae	<i>Canarium commune</i>	java almond, canari nut
	<i>Protium heptaphyllum</i>	sabana-tingimoni
	<i>Tetragastis</i> sp.	-
Cactaceae	<i>Opuntia</i> sp.	-
Caesalpinaceae	<i>Bauhinia</i> sp.	-
	<i>Caesalpinia bonduc</i>	wacht-eeen-beetje
	<i>Cassia latifolia</i>	legwana tite
	<i>Cassia quinquangulata</i>	jorka pesi
	<i>Cassia</i> spp.	-
	<i>Inocarpus edulis</i>	gajam
	<i>Macrolobium angustifolium</i>	watra-biri-oedoe
Campanulaceae	<i>Centropogon cornutus</i>	dia klaroen
	<i>Crataeva tapia</i>	-

과명	종명	일반명
Caryocaraceae	<i>Caryocar nuciferum</i>	ingi noto
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i>	plum
	<i>Couepia cognata</i>	hardbast sabana kwepie
	<i>Parinari</i> sp.	foengoe
Convolvulaceae	<i>Ipomoea</i> sp.	patatate
Cucurbitaceae	<i>Cucumis anguria</i>	West-Indian gherkin, angrokie
	<i>Melothria fluminensis</i>	snekikomkomro
	<i>Momordica charantia</i>	bittergourd
Dilleniaceae	<i>Davilla kunthii</i>	liana
	<i>Davilla</i> sp.	liana
	<i>Dillenia indica</i>	olifantsappel
	<i>Doliocarpus dentatus</i>	diatite
Ebenaceae	<i>Diospyros discolor</i>	fluweelapple
Euphorbiaceae	<i>Aleurites moluccana</i>	candle nut, kemiri
	<i>Jatropha</i>	-
	<i>Margaritaria nobilis</i>	-
	<i>Phyllanthus acidus</i>	gooseberry
	<i>Ricinus communis</i>	castor
Gnetaceae	<i>Gnetum nodiflorum</i>	liana
Guttiferae	<i>Clusia grandiflora</i>	abrasa
	<i>Clusia minor</i>	-
	<i>Clusia nemorosa</i>	sabana-mangro
	<i>Clusia</i> spp.	-
	<i>Garcinia mangostana</i>	mangistan, mangosteen
	<i>Mammea americana</i>	mamey
	<i>Rheedia</i> sp.	pakoeli
	<i>Vismia cayennensis</i>	oema pinja
	<i>Vismia japurensis</i>	pinja
	<i>Vismia macrophylla</i>	pinja
Humeriaceae	<i>Humeria balsamifera</i>	meri
	<i>Humeria</i> sp.	meri
	<i>Sacoglottis cydonioides</i>	witbast-boefroe oedoe
Lecythidaceae	<i>Gustavia augusta</i>	tapoeripa
	<i>Lecythis davisii</i>	kwatapatoe
Leguminosae	<i>Psophocarpus tetragonolobus</i>	ketjipir, winged bean
Loranthaceae	<i>Phthirusa squamulosa</i>	-
Malpighiaceae	<i>Byrsomia crassifolia</i>	sabana-kwari
	<i>Byrsomia</i> spp.	lontoekasi
	<i>Byrsonima coriacea</i>	lontoekasi
Malvaceae	<i>Hibiscus tiliaceus</i>	maho

과명	종명	일반명
Melastomataceae	<i>Henrietta succosa</i>	mispel
	<i>Miconia ciliata</i>	-
	<i>Miconia</i> spp.	-
Meliaceae	<i>Carapa procera</i>	krapa
	<i>Guarea guidonia</i>	roodbast doifi siri
Mimosaceae	<i>Inga edulis</i>	swit-bonki
	<i>Inga ingoides</i>	swit-bonki
	<i>Leucaena leucocephala/glauca</i>	shade tree, lamtoro
Monimiaceae	<i>Mollinedia</i> sp.	-
	<i>Siparuna guianensis</i>	oema-jarakopi
	<i>Siparuna</i> sp.	-
Moraceae	<i>Cecropia sciadophylla</i>	boesipapaya
	<i>Ficus maroniensis</i>	-
	<i>Ficus maxima</i>	merki-oedoe
	<i>Ficus</i> sp.	-
	<i>Helicostylis tomentosa</i>	umpatapu
Musaceae	<i>Musa sapientum</i>	bacove
	<i>Phenakospermum guianense</i>	giant paloeloe
	unknown	sugar banana
	unknown	apple banana
Myristicaceae	<i>Myristica fragrans</i>	nutmeg
	<i>Virola sebifera</i>	egron baboen
Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i> sp.	-
	<i>Eugenia cf florida</i>	forest cherry
	<i>Psidium littorale</i>	strawberry guava
	<i>Syzygium cumini</i>	jambolan, djamoen
Palmae	<i>Astrocaryum vulgare</i> (= <i>Astrocaryum segregatum</i> )	awarra
Palmae	<i>Astrocaryum paramaca</i>	paramaka
	<i>Astrocaryum sciophilum</i>	-
	<i>Attalea maripa</i>	maripa
	<i>Bactris</i> sp.	-
	<i>Bactris</i> sp.	keskesmaka
	<i>Euterpe oleracea</i>	pinapalm
	<i>Guilielma gasipaes</i>	amana
	<i>Mauritia flexuosa</i>	Mauriti palm
	<i>Oenocarpus bacaba</i>	koemboe
	<i>Oenocarpus oligocarpa</i>	-
	unknown	Chinese awarra
	unknown	ornamental palm
Papilionaceae	<i>Andira inermis</i>	drasbos rode kabbes



과명	종명	일반명
	<i>Bocoa prouacensis</i>	ijzerhart
	<i>Crotalaria anagyroides</i>	green manure
	<i>Dalbergia glauca</i>	-
	<i>Dalbergia monetaria</i>	-
	<i>Dioclea macrocarpa</i>	liana
	<i>Dipterex</i> sp.	tonka
	<i>Machaerium lunatum</i>	brantimaka
	<i>Mucuna sloanei</i>	kawai
	<i>Myroxylon balsamum</i>	perubalsemboom
	<i>Sesbana</i> sp.	-
	<i>Swartzia</i> sp.	-
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i>	passion fruit, markoesa
	<i>Passiflora foetida</i>	sneki-mkoesa
	<i>Passiflora laurifolia</i>	water lemon, para markoesa
	<i>Passiflora</i> prob. <i>grandulosa</i>	
	<i>Passiflora quadrangularis</i>	giant granadilla, bigi markoesa
	<i>Passiflora</i> sp.	-
	<i>Passiflora vespertilio</i>	-
Polygonaceae	<i>Coccoloba uvifera</i>	sea grape
Proteaceae	<i>Panopsis sessilifolia</i>	manari-oedoe
Rubiaceae	<i>Coccocypselum guianense</i>	-
	<i>Coffea liberica</i>	coffee
	<i>Faramea occidentalis</i>	penpen
	<i>Geophila herbacea</i>	-
	<i>Morinda citrifolia</i>	didibri-apra
	<i>Psychotria</i> sp.	-
	<i>Randia formosa</i> (= <i>Rosenbergiodendron formosum</i> )	-
	<i>Sabicea glabrescens</i>	-
Rutaceae	<i>Citrus aurantium</i>	sour orange
	<i>Citrus medica</i>	citron
	<i>Citrus paradisi</i> x <i>reticulata</i>	tangelo
	<i>Citrus reticulata</i> 품종 “gele king”	mandarin
	<i>Citrus reticulata</i> x <i>sinensis</i> 품종 “rode king”	tangor
	<i>Citrus</i> spp.	-
Sapindaceae	<i>Cupania scrobiculata</i>	-
	<i>Melicocca bijuga</i>	knippa

과명	종명	일반명
	<i>Nephelium lappaceum</i>	rambutan
	<i>Paullinia pinnata</i>	fefifinga
	<i>Talisia micrantha</i>	boesiknepa
Simaroubaceae	<i>Quassia amara</i>	kwasibita
Solanaceae	<i>Cestrum latifolium</i>	-
	<i>Solanm surinamense</i>	parabita
	<i>Solanum asperum</i>	-
	<i>Solanum stramonifolium</i>	bolomaka
Theaceae	<i>Ternstroemia punctata</i>	-
Tiliaceae	<i>Apeiba echinata</i>	-
Verbenaceae	<i>Citharexylum</i> sp.	-
Vochysiaceae	<i>Vochysia tomentosa</i>	wanakwari
Zingiberaceae	<i>Renealmia exaltata</i>	masoesa
unknown	<i>Funastrium clausum</i>	-
unknown	<i>Ptychosperma macarthurii</i>	-

사. 구아바과실파리의 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

(1) CLIMEX 모형 이용 구아바과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 Lu et al. (2010)의 기준값을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

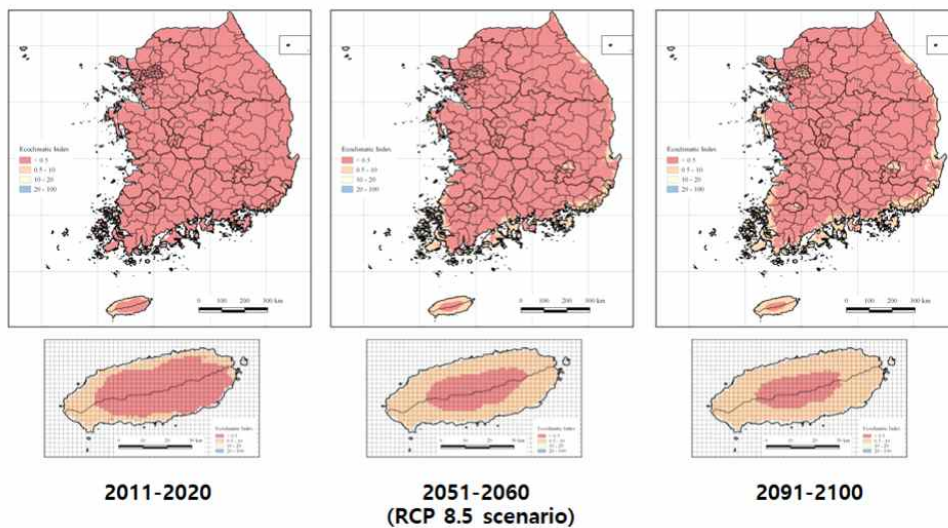
<칼람볼라과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>

매개변수	추정값	매개변수	추정값
DV0	11.6	TTCSA	-
DV1	24	THCSA	-
DV2	34	TTHS	36
DV3	35	THHS	0.0008
SM0	0.1	DTHS	-
SM1	0.24	DHHS	-
SM2	0.85	SMDS	0.1
SM3	1.3	HDS	-0.00036
TTCS	9	SMWS	1.5
THCS	-0.0005	HWS	0.0006
DTCS	-	DVCS	-
DHCS	-	DVHS	-
PDD	454.5		

2011-2020

2051-2060

2091-2100



RCP8.5 기후시나리오에 따른 구아바과실파리 기후적합 정착위험도 지도

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable, 0.50 - 9.99 = marginal, 10 - 19.99 = suitable, >20 = optimal and 100 = perfect)

(2) 구아바과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 구아바과실파리의 생활사

구아바과실파리(*Bactrocera correcta*(Bezzi))는 유충이 구아바 과실을 가해하는 과실파리 종류로 *Bactrocera correcta* (Bezzi)와 *Anastrepha striata*가 있는데(White and Elson-Harris,

1994), 이 중 *B. correcta*를 구아바과실파리(Guava fruit fly)로 칭하고 있다.

구아바과실파리는 비휴면 연중발생하는 해충으로 발생지역의 온도조건에 따라 연간 3~8세대 까지 발생한다(Fletcher, 1987). 중국 운남지방에서는 고도 1,500m 이하의 연평균기온이 15.8°C 이상인 저지대에서 주로 발생하며(Liu, 2007), 따라서 오리엔탈과실파리가 고도 2,000m까지 발견되는 것과 비교하면 저온적응성이 오리엔탈과실파리보다 낮은 것으로 보인다(Liu and Ye, 2009). 온도조건 18~33°C 사이에서는 발육이 가능하지만, 성충은 18°C에서 비행은 가능하나 교미와 산란을 하지 않았으며, 발육 또한 매우 지연된다. 이는 다른 과실파리에서 관찰되는 것과 같이 성충이 저온에서 생식적 휴면에 돌입하기 때문일 것으로 추정하고 있다(Fletcher, 1987; Liu and Ye, 2009).

구아바과실파리의 발육기간은 알 1~3일, 유충 6~7일,蛹 6~9일 필요하고, 다음 세대전까지 12일이 소요된다(Lv et al., 2010; Rana et al., 1992). 반면, 중국(Liu and Ye, 2009)과 베트남(Kamiji, 2014)에서 인공먹이를 이용하여 얻은 온도별 발육기간, 성충수명, 산란수는 표 3-1과 같이 온도에 따라 큰 변이를 보고 있다.

온도발육매개변수에 대하여 Liu and Ye(2009)는 실내 온도발육실험 결과 알, 유충,蛹, 성충의 산란전기간의 발육영점온도를 각각 8.5°C, 7.6°C, 9.5°C, 15.7°C, 발육완료에 필요한 적산온도를 각각 26.3DD, 200DD, 166.7DD, 333.3DD로 추정하였다. 또한 Kamiji(2014)는 알, 유충,蛹, 성충의 산란전기간의 발육영점온도를 각각 12.96°C, 12.17°C, 12.3°C, 14.19°C로, 발육완료에 필요한 적산온도를 각각 18.43DD, 72.6DD, 141.88DD, 175.7DD로 추정하고 있어 다소 차이를 보이고 있다. 세대기간 발육에 필요한 발육영점온도는 15.7°C로 보고하였다(Liu, 2007).

표 3-1. 구아바과실파리의 발육과 온도와의 관계 : 발육기간, 수명, 산란수

온도 (°C)	온도 범위 (°C)	발육기간(d)			알 ~산란전 기간	성충				지역	인용문헌
		알	유충	용		산란전 기간	산란 기간	산란수	성충(수)		
18		2.8	17.6	18.5		불가				China	Liu and Ye, 2009
18.7			11.3	22.2						Vietnam	Kamiji, 2014
18.8		3.2								Vietnam	Kamiji, 2014
19.6						28.5				Vietnam	Kamiji, 2014
21.7			7.4	15.2						Vietnam	Kamiji, 2014
21.8		2.1								Vietnam	Kamiji, 2014
22.3						24.6				Vietnam	Kamiji, 2014
24		1.7	12.1	11.2		38.8				China	Liu and Ye, 2009
25		1.7	6.8	7.4	28.4	12.5	18.6	393.6	119.6 ~139.0	China	Jaleel et al., 2017
25.2		1.5	5.3	10.5						Vietnam	Kamiji, 2014
25.7						12.6				Vietnam	Kamiji, 2014
27.5	27~28									China	Liu et al., 2015
27.5	27~28									China	Liu et al., 2015
27.5	25~30							818.2		China	Liu et al., 2015
27.5	25~30							874.6		China	Liu et al., 2015
27.7		1.2	4.8	9.0						Vietnam	Kamiji, 2014
28.7						13.5				Vietnam	Kamiji, 2014
30		1.2	8.3	7.5		23.3				China	Liu and Ye, 2009
30.9		1.1	4.0	8.0						Vietnam	Kamiji, 2014
31.7						10.6				Vietnam	Kamiji, 2014
33		1.1	7.6	7.0		20.5				China	Liu and Ye, 2009
36		1.1	8.0	6.8		15.8				China	Liu and Ye, 2009

토양수분함량이 번데기의 우화율에 큰 영향을 미치며, 20% 이상에서는 수분함량이 높을수록 사망률이 증가하고 토양수분함량 100%에서는 우화율이 0에 이른다(Wei and Zeng, 2011).

인도에서 구아바과실파리 수컷은 바질류 식물인 홀리바실(Tulsi plant, *Ocimum sanctum*)에 유인되는 것으로 알려져 있는데, 이 식물의 정유에는 약 20%의 메틸유진놀이 함유되어 있다(Shah and Patel, 1976).

(나) 구아바과실파리의 분포

구아바과실파리는 1916년 처음 인도 Bihar에서 발견되었으며(Bezzi, 1916), 주로 아시아지역에 분포하고 있다. 다만, 일본과 대만에서는 발생근거가 확실치 않으며 모두 미발생 지역으로 취급하고 있다.

북미대륙에는 아직 정착하지 못한 상태이나 캘리포니아(1986년 이후)와 플로리다(1999년 이후)에서 수차례 검출되어 박멸처리로 제거된 바 있다(Anderson and Dixon, 2008; Weems and Fasulo, 2011)

○ 구아바과실파리 분포지역(CABI, 2018)

대륙	국가/지역	분포상황
아시아 (Asia)	부탄 (Bhutan)	존재
	중국 (China)	존재
	- 윈난 (Yunnan)	존재
	인도 (India)	널리 분포
	- 안드라 프라데시 (Andhra Pradesh)	존재
	- 비하르 (Bihar)	존재
	- 고아 (Goa)	존재
	- 구자라트 (Gujarat)	존재
	- 하리아나 (Haryana)	존재
	- 히마찰 프라데시 (Himachal Pradesh)	존재
	- 펀자브 (Indian Punjab)	존재
	- 카르나타카 (Karnataka)	널리 분포
	- 케랄라 (Kerala)	존재
	- 마하라슈트라 (Maharashtra)	존재
	- 타밀 나두 (Tamil Nadu)	널리 분포
	- 우타르 프라데시 (Uttar Pradesh)	존재
	- 서벵골 (West Bengal)	존재
	일본 (Japan)	없음, 검역기록만 있음
	미얀마 (Myanmar)	존재
	네팔 (Nepal)	존재
파키스탄 (Pakistan)	널리 분포	
스리랑카 (Sri Lanka)	널리 분포	
대만 (Taiwan)	없음(불확실) <sup>1</sup>	
태국 (Thailand)	널리 분포	
북미 (North America)	미국 (USA)	박멸됨
	- 캘리포니아 (California)	박멸됨
	- 플로리다 (Florida)	불확실

<sup>1</sup> 대만 : 기존 CABI 기록에는 대만 분포하는 것으로 표기되어 있었으나, 오류로 보이며 현재 대만에서는 구아바과실파리를 금지해충으로 취급하고 있음

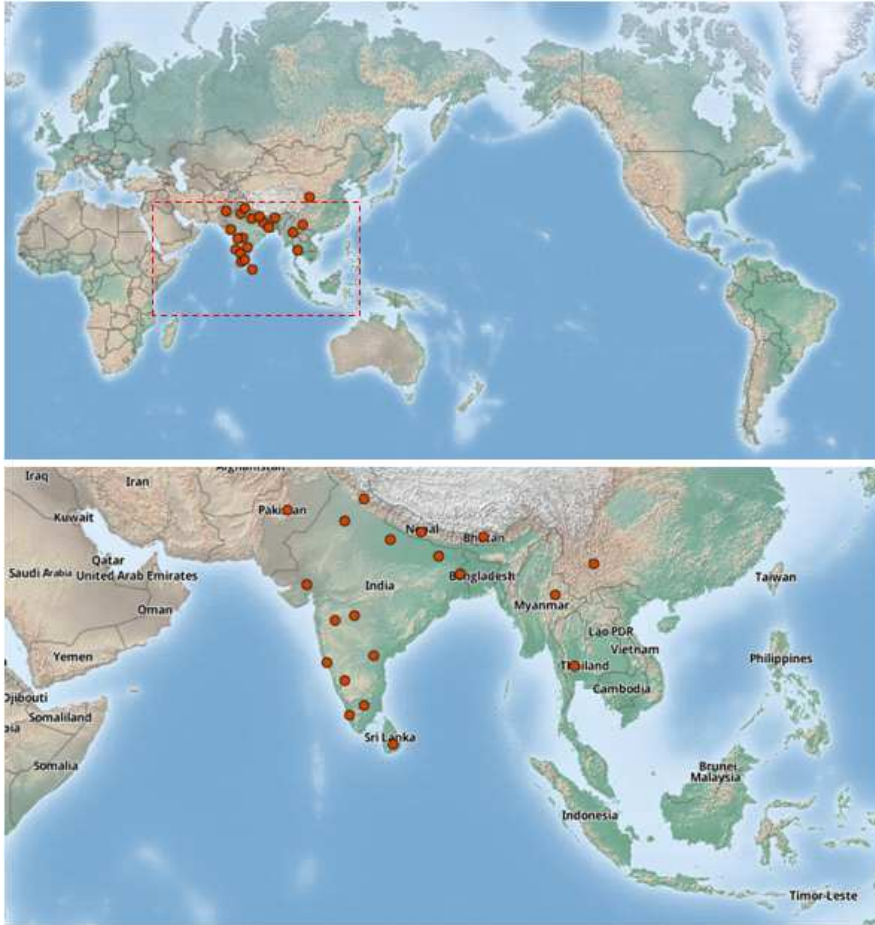


그림 3-1. 구아바과실파리 분포지역

(자료 : CABI 2018, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8703>)

(다) 구아바과실파리의 기주

구아바과실파리는 구아바(*Averrhoa carambola*) 과실의 심각한 해충으로 알려져 있으나, 구아바, 망고 등 다양한 기주식물을 가해한다(CABI, 2018). 제시된 기주식물목록은 선호성이 높은 기주식물부터 드물게 우발적으로 가해하는 기주식물이 모두 포함되어 있다.

○ CABI(2018)와 USDA-APHIS(2014)의 기주목록

과명	학명	일반명	
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	cashew nut	캐슈넛
	<i>Bouea macrophylla</i>	gandaria	마프랑
	<i>Bouea oppositifolia</i>	mariantree	-
		plum mango	-
	<i>Mangifera indica</i>	mango	망고
	<i>Spondias dulcis</i>	Jew plum	암바렐라
		yellow plum	
Otaheite apple golden apple			
<i>Spondias pinnata</i>	common hog plum	마콧	
<i>Spondias purpurea</i>	red mombin	호코테	
Annonaceae	<i>Polyalthia longifolia</i>	cemeterytree	돛대나무
		masttree	아쇼카나무
Apocynaceae	<i>Carissa carandas</i>	Bengal currants	카란다
		carandas plum	카룬다
		karanda	
Arecaceae	<i>Arecacatechu</i>	betelnut palm	비낭야자 베텔야자
		areca nut	
		catecu	
		Indian nut	
		Pinang palm	
Cactaceae	<i>Opuntia monacantha</i>	smoothtree pear	마블 선인장
		droopingtree pear	
		chochineal prickly pear	
Capparaceae	<i>Capparis sepiaria</i>	-	-
	<i>Capparis thorelii</i>	cáp thorel	-
	<i>Maerua siamensis</i>	-	-
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	pawpaw	파파야
Clusiaceae	<i>Garcinia dulcis</i>	Cludie mangosteen eggtree	-
	<i>Garcinia xanthochymus</i>	gamboge tree	노란망고스틴 감보즈
Combretaceae	<i>Terminalia bellirica</i>	beachalmond	벨레릭
		belleric	
	<i>Terminaliacatappa</i>	Singapore almond	열대아몬드



과명	학명	일반명	
		sea almond tropical almond Indian alomnd	
Cucurbitaceae	<i>Benincasa hispida</i>	ash gourd wax gourd Chinese watermelon ash pumpkin winter melon	동과
	<i>Coccinia grandis</i>	ivy gourd	-
	<i>Cucumis melo</i>	melon	멜론 (참외 포함)
	<i>Luffa aegyptiaca</i>	spongegourd loofah dishrag gourd	수세미외
	<i>Trichosanthes costata</i>	ribbed orange gourd	-
	<i>Trichosanthes cucumerina</i>	annual gourd club gourd serpen tgourd snak egourd	뱀오이
Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus obtusifolius</i>	koksat maixat keruing	-
Elaeocarpaceae	<i>Elaeocarpus hygrophilus</i>	Spanishplum jahtung-banghri	-
Euphorbiaceae	<i>Phyllanthusacidus</i>	star gooseberry	스타구즈베리
Flacourtiaceae	<i>Flacourtia indica</i>	governor'splum ramontchi	거버너플럼
	<i>Flacourtia jangomas</i>	Indian plum	커피플럼
Irvingiaceae	<i>Irvingia malayana</i>	barking deer's mango	-
Lecythidaceae	<i>Careya arborea</i>	kumbi slow matchtree cockyappl tummy wood	-
	<i>Careya sphaerica</i>	kra doon	-
Loganiaceae	<i>Strychnos potatorum</i>	clearing nut tree	-
Malpighiaceae	<i>Malpighia emarginata</i>	acerola Barbados cherry West Indian cherry	아세롤라
	<i>Malpighia glabra</i>	acerola	아세롤라
Meliaceae	<i>Heynea trijuga</i>	buahpasat kalibaian	-
	<i>Sandoricum koetjape</i>	kechapi	산톨

과명	학명	일반명	
		sengol red sangol	
Moraceae	<i>Artocarpus chama</i>	chaplash	-
	<i>Artocarpus integer</i>	champedak	첼페닥
Musaceae	<i>Musax paradisiaca</i>	plantain banana	바나나
Myristicaceae	<i>Knema angustifolia</i>	horse blood	-
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	guava	구아바
	<i>Syzygium aqueum</i>	wateryrose-apple bellfruit	워터애플
	<i>Syzygium borneense</i>	kelat kerian	-
	<i>Syzygium cumini</i>	black plum Java plum rose apple jambolan	자바플럼
	<i>Syzygium jambos</i>	rose apple jambos	로즈애플
	<i>Syzygium malaccense</i>	Malay apple rose apple	말레이 애플
	<i>Syzygium nervosum</i>	Daly River satin ash	-
	<i>Syzygium samarangense</i>	water apple Java apple wax jambu	왁스 잠부
Olacaceae	<i>Olax scandens</i>	namchai Khrai	-
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i>	carambola starfruit	스타프루트
Phyllanthaceae	<i>Baccaurea racemosa</i>	menteng	-
	<i>Flueggea virosa</i>	common bushweed Chinses waterberry	-
Rhamnaceae	<i>Ziziphus jujuba</i>	common jujube	대추
	<i>Ziziphus mauritiana</i>	jujube	인도대추
	<i>Ziziphus nummularia</i>	jujube	-
	<i>Ziziphus oenoplia</i>	jacka ljujube wild jujube	-
Rosaceae	<i>Prunus avium</i>	sweet cherry bird cherry gean wild cherry	양벚나무
	<i>Prunus cerasus</i>	sour cherry dwarf cherry morello cherry tart cherry	신양벚나무

과명	학명	일반명	
	<i>Prunus persica</i>	peach	복숭아
	<i>Prunus salicina</i>	plum	자두
Rubiaceae	<i>Coffea canephora</i>	Congo coffeetree roobusta coffee	로부스타 커피
Rutaceae	<i>Citrus maxima</i>	pummelo	포멜로
	<i>Citrus reticulata</i>	mandarin swee torange	만다린
	<i>Clausena lansium</i>	wampi	얌피
Sapindaceae	<i>Dimocarpus longan</i>	longan tree	용안 롱간
	<i>Lepisanthes fruticosa</i>	-	-
Sapotaceae	<i>Madhuca longifolia</i>	honeytree moatree	-
	<i>Manilkara zapota</i>	sapodilla	사포딜라
	<i>Mimusops elengi</i>	Spanish cherry medlar	-
Schoepfiaceae	<i>Schoepfia fragrans</i>	xiang fu mu	-
Tiliaceae	<i>Muntingia calabura</i>	Jamaica cherry Panama berry strawberrytree capulin	-
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>	wild grape wine grape	포도

(라) 구아바과실과리 발생세대 예찰 매뉴얼

변온동물인 곤충은 온도에 따라 발육기간이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기 온도에 의해 영향을 받는다. 다만, 번데기 단계 기간은 토양 내에서 경과함으로 토양온도의 영향을 받는다. 곤충은 일정한 범위의 온도에서만 발육이 가능하다. 따라서 발육이 가능한 최저 온도인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온도(적산온도, degree-days, DD)을 추정하여 세대경과를 예측할 수 있다.

발육영점온도와 적산온도는 온도에 따른 발육기간에 대한 실험적 자료를 이용하여 추정한다. 표 3-1은 항온조건에서 구아바과실과리의 발육기간을 보여주는 자료이다. 발육기간에 역수를 취하여 발육률로 변환시켜 종속변수(y)로 사용하고, 온도를 독립변수(x)로 취급하여 선형모형을 추정한다( $y=ax+b$ ). 이 선형모형에서 발육영점온도는  $-a/b$ 가 되며, 적산온도는  $1/a$ 가 된다.

기존자료를 종합하여(표 3-1) 구아바과실과리 각 발육단계별 발육영점온도와 적산온도를 추정한 결과는 표 3-2에 제시되어 있다. 이 자료는 포장에서 예찰 작업시 특정 발육단계의 발육 완료를 추정하는데 활용할 수 있다.

구아바과실과리 침입후 발견 또는 박멸과정에서 발생세대수 추정은 의사결정을 위한 중요한 정보이다. 즉 상황에 따라 발생 세대기간에 따른 대응조치를 달리 적용한다. 이 때 각 발육 단계의 발육영점온도와 적산온도를 이용하여 순차적으로 적산온도를 계산하여 세대기간을 추정할 수 있다. 즉 알, 유충, 번데기, 산란전기간이 완료되면 1세대가 완성되는 것으로 판단한다. 하지만, 이 방법은 정확할 수는 있으나 계산이 복잡하고 번데기 발육을 추정하기 위한 토양온

도가 필요하기 때문에 현장에서 실용성이 떨어진다.

대체 방법으로 알-알기간의 세대기간을 적용할 수 있다. 알-알 세대기간의 발육영점온도 11.6°C와 적산온도 454.5 DD를 이용한다(Kamiji(2014)가 추정한 419.0 DD/12.9°C와 유사함). 이 방법은 대기온도자료만을 이용하여 신속하고 간편하게 구아바과실파리 발생 세대수를 추정할 수 있는 장점이 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대(기상청)의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

**표 3-2.** 발육단계별 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도

발육 단계	온도발육 선형모형			발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)
	회귀식(y: 발육율, x: 온도)	df	R <sup>2</sup>		
알	$y = 0.0374x - 0.3139$	10	0.90	8.4	26.7
유충	$y = 0.013x - 0.1525$	10	0.97	11.7	76.9
번데기	$y = 0.0059x - 0.0504$	10	0.84	8.5	169.5
산란전기간	$y = 0.0049x - 0.0579$	5	0.80	11.8	204.1
알-알기간	$y = 0.0026x - 0.0307$	9	0.93	11.6	454.5

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며, 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 대기온도가 발육영점온도보다 낮은 경우 일유효온도는 “0”를 적용한다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 번데기의 경우 토양에서 존재하기 때문에 토양 온도가 필요하지만 생육기에는 대기 온도와 큰 차이가 없으므로 대기온도만을 이용하여 세대 완료를 추정할 수 있다. 최종 발견일(또는 최초발견일) 다음날부터 적산온도를 계산하여 454.5 DD(발육영점온도 11.6°C 적용) 되는 날이 1 세대가 완료되는 날이다(454.5 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

발생세대수 추정을 하는 동안 겨울철과 만나는 경우 적산온도가 누적되지 않기 때문에 진행되고 있는 세대가 다음연도로 넘어가서 완료될 수 있다. 이런 경우 현장조사 활동의 중단은 발생세대수가 아닌 평균 대기온도를 기준으로 결정한다.

구아바과실파리의 발육단계별 발육영점온도(표 3-2참조)는 알 8.4°C, 유충 11.7°C, 번데기 8.5°C, 산란전기간 11.8°C가 된다. 대기온도 기준 일평균온도가 이 발육영점온도들 중 어느 발육 단계의 값 이하인 경우 발육이 중지되어 세대진전이 정지되는 것을 의미한다.

즉 11.8°C(즉, 산란전기간)를 적용하여 연속적으로 4일 이상 일평균대기온도가 11.8°C 이하로 내려가면 조사를 중단할 수 있다. 또한 연속적으로 4일 이상 일평균 대기온도가 11.8°C 이상 올라가면 조사를 재개한다. 조사를 재개한 경우 전년도(또는 이전)부터 이어서 계산한 적산온도에 근거한 세대수에 따라 현장 계속조사 여부에 대한 의사를 결정한다.

노지작물에서는 겨울동안 조사중지가 가능하지만 시설재배(특히 가온재배 온실)의 작물은 상황에 따라 위험도를 평가하여 조사를 계속 실시한다.

○ 성충의 저온사망률 추정모형

구아바과실파리는 성충태로 월동하는 것으로 보이며, Dou et al.(2011)은 성충의 저온에 대한 내성에 대하여 0℃에서는 24h 이상 생존하지 못하며 12h 동안 노출되는 경우 생존율 40%, 3℃에서 24h 동안 60% 이상이 생존, 6℃에서 48h 동안 50% 이상 생존, 9℃에서는 72h 동안 90% 이상이 생존한다고 보고하였다.

Dou et al.(2011)가 추정된 저온 지속시간에 따른 생존율 모형으로부터 성충이 99.99% 사망하기까지 걸리는 시간을 추정하면 다음과 같다.

**표 3-3. 저온에서 구아바과실파리 성충이 사망하는데 필요한 소요시간**

온도 (°C)	99.99% 사망 소요시간(h)
0	40
3	114
6	208
9	180

- 번데기 우화율(생존률) 추정모형(Qin et al., 2015) : 월별 평균 토양온도와 토양수분함량을 이용하여 우화생존률 추정

$$Z = -0.00346313X^2 - 0.0000811Y^2 + 0.16755X + 0.00939Y - 1.448$$

Z (ER) : 우화율, X : 토양온도(월평균), Y : 토양수분함량(월평균)

- ER값에 따른 정착 적합도 판정 : 부적합 ER = 0, 경계지역 0 < ER ≤ 0.3, 적합 0.3 < ER ≤ 0.6, 최적 0.6 < ER ≤ 1

**아. 작은퀸즐랜드과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼**

(1) CLIMEX 모형 이용 작은퀸즐랜드과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 Sutherst and Maywald (1989)의 기존값을 바탕으로 본 연구에서 추정 한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

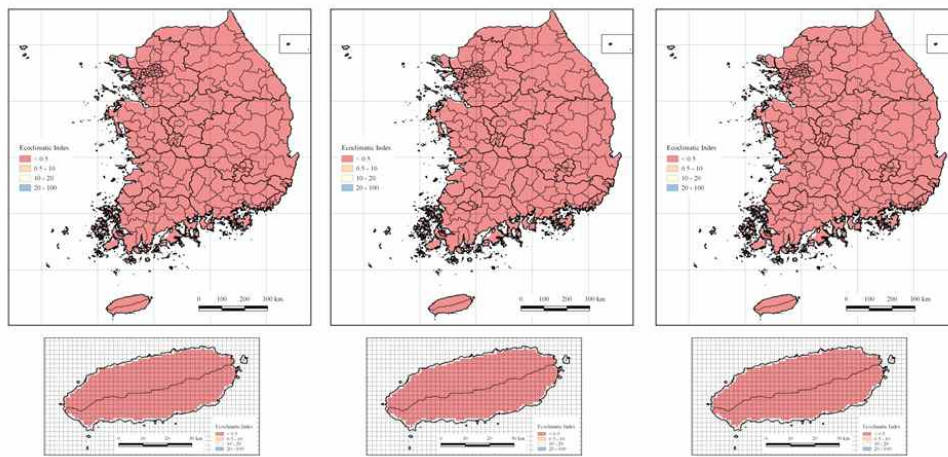
**<작은퀸즐랜드과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>**

매개변수	추정값	매개변수	추정값
DV0	9.2	TTCSA	-
DV1	28	THCSA	-
DV2	33	TTHS	38
DV3	38	THHS	0.0055
SM0	0.25	DTHS	-
SM1	0.8	DHHS	-
SM2	3	SMDS	0.2
SM3	5	HDS	-0.015
TTCS	8	SMWS	5
THCS	-0.0035	HWS	0.002
DTCS	35	DVCS	-
DHCS	-0.002	DVHS	-
PDD	467.8		

**2011-2020**

**2051-2060**

**2091-2100**



**2011-2020**

**2051-2060  
(RCP 8.5 scenario)**

**2091-2100**

**RCP8.5 기후시나리오에 따른 작은퀸즐랜드과실파리 기후적합 정척위험도 지도**

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable, 0.50 - 9.99 = marginal, 10 - 19.99 = suitable, >20 = optimal and 100 = perfect)

(2) 작은퀸즐랜드과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 작은퀸즐랜드과실파리의 생활사

작은퀸즐랜드과실파리는 퀸즐랜드과실파리와 형태적으로 매우 유사하여 서로 오동정되기도 한다. 그러나 전자는 한낮에 교미하고 후자는 황혼에 교미가 이루어지는 등 시간적으로 다른

교미행동을 통하여 생식적으로 격리되어 있다(Drew, 1989).

호주본토에서 퀸즐랜드과실파리와 작은퀸즐랜드과실파리의 북방한계는 유사하지만, 작은퀸즐랜드과실파리의 분포는 해안지대에 좁게 한정되어 있고 남쪽으로 확장되지 않는다(May, 1963).

Meats(2006)의 발육실험 결과에 따르면 25~28°C 온도범위에서 알~유충 8~10일(용화관측), 알-유충-용 19~22일(성충관측), 산란관측 26~28일, 따라서 세대기간(알-알)은 26~28일이 된다. 18°C 조건에서는 각각 13~15일, 35~38일, 52~54일 이었다.

성충은 연중 발생하며 우화 1~2주 후에 교미하고 교미당일부터 산란한다. 작은퀸즐랜드과실파리 성충의 무반응임계온도(torpor threshold)는 2.2°C로 추정되었으며, -4°C에서 50% 개체군이 사망하는 시간은 6.76시간 이었다(Meats, 2006).

성충은 온도조건에 따라 1~3개월 생존할 수 있다(Christenson and Foote, 1960). 작은퀸즐랜드과실파리는 멜로루어(Melolure : raspberry ketone formate)보다는 큐-루어(cue-lure)에 보다 잘 유인된다(Royer, 2015).

기타 작은퀸즐랜드과실파리의 성충 수명이나 산란수에 대한 연구자료는 잘 알려지지 않았다.

표 3-1. 작은퀸즐랜드과실파리의 발육과 온도와의 관계(Meats, 2006)

온도(°C)	알-유충	용	산란전기간	세대기간
18	14	22.5	16.5	53
26.5 (25~28)	9	11.5	6.5	27

(나) 작은퀸즐랜드과실파리의 분포

작은퀸즐랜드과실파리는 호주 퀸즐랜드 지역에 국한하여 분포하고 있다. 퀸즐랜드에서 연간 강우량이 760mm 이상인 지역에서 발견되고 있다(Drew, 1982a)

○ 작은퀸즐랜드과실파리 분포지역(CABI, 2018)

대륙	국가/지역	분포상황
오세아니아 (Oceania)	호주 (Australia)	존재
	- 뉴사우스웨일스 주 (New South Wales)	제한적으로 분포
	- 퀸즐랜드 주 (Queensland)	제한적으로 분포
	파푸아뉴기니 (Papua New Guinea)	존재



그림 3-1. 작은퀸즐랜드과실파리 분포지역

(자료 : CABI 2018, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8727>)



(다) 작은퀸즐랜드과실파리의 기주

작은퀸즐랜드과실파리는 기주범위가 넓으며 퀸즐랜드과실파리와 기주이용 양상이 비슷하다. 주요 기주로는

Major hosts include 구아바(*Psidium guajava*), 야생 구아바(*Psidium cattleianum*), 커피(*Coffea arabica*), 열대아몬드(*Terminalia catappa*) 등이다(Hancock et al., 2000).

○ CABI(2018)의 기주목록

과명	학명	일반명	
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	cashew nut	캐슈넛
	<i>Mangifera indica</i>	mango	망고
	<i>Spondias mombin</i>	hog plum	호그플럼
	<i>Spondias purpurea</i>	red mombin	호코테 카자
Annonaceae	<i>Annona glabra</i>	pond apple	폰드애플
	<i>Annona muricata</i>	soursop	가시여지
	<i>Annona reticulata</i>	custardapple oxheart bullock'sheart	커스티드애플
	<i>Annona squamosa</i>	sugar apple	슈가애플
	<i>Cananga odorata</i>	perfume tree	일랑일랑
	<i>Rollinia mucosa</i>	Biriba	비리바
Arecaceae	<i>Phoenix dactylifera</i>	date-palm	대추야자
Capparaceae	<i>Crateva religiosa</i>	Bengal quince	-
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	pawpaw	파파야
Clusiaceae	<i>Calophyllum inophyllum</i>	Alexandrian laurel	용화수
Combretaceae	<i>Terminalia</i>	-	-
	<i>Terminalia catappa</i>	Singapore almond	열대아몬드 카타파
Ebenaceae	<i>Diospyros blancoi</i>	mabolo	마블로 벨벳애플
	<i>Diospyros kaki</i>	persimmon	감
Malpighiaceae	<i>Malpighia emarginata</i>	acerola Barbadoscherry WestIndiancherry	아세롤라
Moraceae	<i>Morus nigra</i>	black mulberry	블랙 멀베리
Musaceae	<i>Musaxparadisiaca</i>	plantain	바나나
Myrtaceae	<i>Eugenia brasiliensis</i>	brazil cherry	브라질체리
	<i>Eugenia uniflora</i>	Surinam cherry	수리남체리
	<i>Feijoa sellowiana</i>	Horn of plenty	피조아 페이조아
	<i>Myrciaria cauliflora</i>	jaboticaba	자보티카바
	<i>Psidium cattleianum</i>	strawberry guava	야생구아바

과명	학명	일반명	
			스트로베리 구아바
	<i>Psidium guajava</i>	guava	구아바
	<i>Syzygium aqueum</i>	watery rose-apple	워터애플
	<i>Syzygium jambos</i>	rose apple	로즈애플
	<i>Syzygium malaccense</i>	Malay apple	말레이 애플
	<i>Syzygium paniculatum</i>	australian brush-cherry	-
	<i>Syzygium samarangense</i>	water apple	왁스 잠부
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i>	carambola starfruit	카람볼라 스타프루트
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i>	passionfruit	패션프루트
Passifloraceae	<i>Passiflora foetida</i>	red fruit passion flower	시계초
	<i>Passiflora quadrangularis</i>	giant granadilla	자이언트 그라나딜라
	<i>Passiflora suberosa</i>	corkystem passionflower	-
Rhamnaceae	<i>Ziziphus jujuba</i>	common jujube	대추
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	loquat	비파
	<i>Malus sylvestris</i>	crab-apple tree	사과
	<i>Prunus armeniaca</i>	apricot	살구
	<i>Prunus domestica</i>	plum	서양자두
	<i>Prunus persica</i>	peach	복숭아
	<i>Prunus salicina</i>	Japanese plum	자두
	<i>Pyrus communis</i>	European pear	서양배
	<i>Rubus rosifolius</i>	roseleaf raspberry	-
Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i>	arabica coffee	커피
Rutaceae	<i>Casimiroa edulis</i>	white sapote	화이트 사포테
	<i>Citrus aurantiifolia</i>	lime	라임
	<i>Citrus limon</i>	lemon	레몬
	<i>Citrus maxima</i>	pummelo	포멜로
	<i>Citrus reticulata</i>	mandarin	만다린
	<i>Citrus sinensis</i>	navel orange	당귤, 오렌지
	<i>Citrus x paradisi</i>	grapefruit	자몽
	<i>Clausena lansium</i>	wampi	얌피
	<i>Fortunella japonica</i>	round kumquat	금감 금귤
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum cainito</i>	caimito	스타애플
	<i>Manilkara zapota</i>	sapodilla	사포딜라
	<i>Pouteria caimito</i>	Abiu	아비우
	<i>Synsepalum dulcificum</i>	miracle fruit	미라클프룻
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i>	bell pepper	고추
	<i>Cyphomandra betacea</i>	tree tomato	타마릴로
	<i>Solanum laciniatum</i>	kangaroo apple	캥거루사과

과명	학명	일반명	
	<i>Solanum lycopersicum</i>	tomato	토마토
	<i>Solanum seafortianum</i>	Brazilian nightshade	-
Tiliaceae	<i>Muntingia calabura</i>	Jamaica cherry	-
Vitaceae	<i>Vitis labrusca</i>	fox grape	-

(라) 작은퀸즐랜드과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

변온동물인 곤충은 온도에 따라 발육기간이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기 온도에 의해 영향을 받는다. 다만, 번데기 단계 기간은 토양 내에서 경과함으로 토양온도의 영향을 받는다. 곤충은 일정한 범위의 온도에서만 발육이 가능하다. 따라서 발육이 가능한 최저 온도인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온량(적산온도, degree-days, DD)을 추정하여 세대경과를 예측할 수 있다.

발육영점온도와 적산온도는 온도에 따른 발육기간에 대한 실험적 자료를 이용하여 추정한다. 현재 알려진 작은퀸즐랜드과실파리의 발육기간을 보정하여 정리하면 표 3-1과 같다. 발육기간에 역수를 취하여 발육률로 변환시켜 종속변수(y)로 사용하고, 온도를 독립변수(x)로 취급하여 선형모형을 추정한다( $y=ax+b$ ). 이 선형모형에서 발육영점온도는  $-a/b$ 가 되며, 적산온도는  $1/a$ 가 된다. 두 온도자료를 이용한 모형으로 통계적으로 취약하지만 현실적으로 이용할 수 있는 모형이다.

작은퀸즐랜드과실파리 침입후 발견 또는 박멸과정에서 발생세대수 추정은 의사결정을 위한 중요한 정보이다. 즉 상황에 따라 발생 세대기간에 따른 대응조치를 달리 적용한다. 이 때 각 발육단계의 발육영점온도와 적산온도를 이용하여 순차적으로 적산온도를 계산하여 세대기간을 추정할 수 있다. 즉 알, 유충, 번데기, 산란전기간이 완료되면 1세대가 완성되는 것으로 판단한다. 하지만, 이 방법은 정확할 수는 있으나 계산이 복잡하고 번데기 발육을 추정하기 위한 토양온도가 필요하기 때문에 현장에서 실용성이 떨어진다.

대체 방법으로 알-알기간의 세대기간을 적용할 수 있다. 알-알 기간의 회귀식은  $y=0.0021x-0.0196$ 으로 추정되었다( $y$ =발육률,  $x$ =온도). 따라서 알-알 세대기간의 발육영점온도 9.2°C와 적산온도는 467.8 DD가 된다. 이 방법은 대기온도자료만을 이용하여 신속하고 간편하게 작은퀸즐랜드과실파리 발생 세대수를 추정할 수 있는 장점이 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대(기상청)의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며, 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 대기온도가 발육영점온도보다 낮은 경우 일유효온도는 “0”를 적용한다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 번데기의 경우 토양에서 존재하기 때문에 토양온도가 필요하지만 생육기에는 대기 온도와 큰 차이가 없으므로 대기온도만을 이용하여 세대 완료를 추정할 수 있다. 최종 발견일(또는 최초발견일) 다음날부터 적산온도를 계산하여 467.8 DD(발육영점온도 9.2°C 적용) 되는 날이 1세대가 완료되는 날이다(467.8 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀

시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

발생세대수 추정을 하는 동안 겨울철과 만나는 경우 적산온도가 누적되지 않기 때문에 진행되고 있는 세대가 다음연도로 넘어가서 완료될 수 있다. 이런 경우 퀴즐랜드과실파리에 준하여 결정한다.

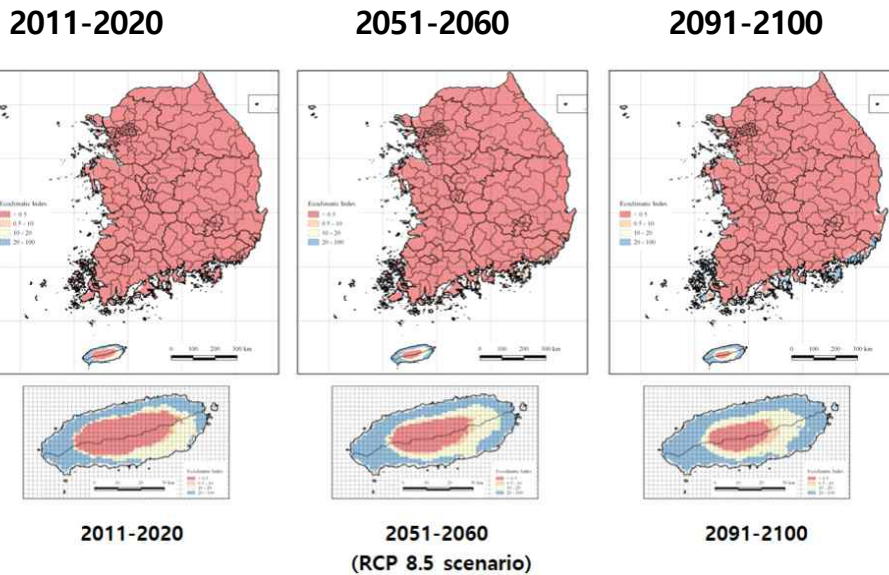
**자. 남방고추과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼**

(1) CLIMEX 모형 이용 남방고추과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 Ma et al.(2012)의 기준값을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

**<남방고추과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>**

매개변수	추정값	매개변수	추정값
DV0	10.4	TTCSA	-
DV1	18	THCSA	-
DV2	33	TTHS	36,0
DV3	36	THHS	0.005
SM0	0.1	DTHS	-
SM1	0.5	DHHS	-
SM2	1	SMDS	0.1
SM3	1.8	HDS	-0.005
TTCS	2	SMWS	1.8
THCS	-0.1	HWS	0.002
DTCS	-	DVCS	-
DHCS	-	DVHS	-
PDD	517.5		



**RCP8.5 기후시나리오에 따른 남방고추과실파리 기후적합 정착위험도 지도**

(Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable, 0.50 - 9.99 = marginal, 10 - 19.99 = suitable, >20 = optimal and 100 = perfect)

(2) 남방고추과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 남방고추과실파리의 생활사

남방고추과실파리(*Bactrocera latifrons*)는 유충이 고추 등 가지과 식물을 주로 과실파리 해충이다. 이 종은 비휴면으로 연중발생하는 해충으로 발생지역의 온도조건에 따라 여러 세대가 발생한다. 1983년 하와이에서 발견되었고 하와이에서 고추(*Capsicum annum* L.)가 가장 많이

감염되는 기주식물 이었다(Vargas and Nishida, 1985a). 태국에서도 고추의 심각한 문제해충이며, 암컷 수명은 31.1일이고 10일째 산란을 시작하였고, 고추 착과기부터 수확기까지 전기간 가해한다(Wingsanoi and Siri, 2012.). 말레이시아에서는 고추에서 60~80% 피해가 나오는 것으로 알려져 있다(Vijaysegaran and Osman, 1991).

남방고추과실파리의 최적온도는 24°C 이고, 16°C 이하와 32°C 이상 온도범위에서는 발육이 저해된다(Vargas et al., 1996; 1997). 활동온도범위가 오이과실파리나 지중해과실파리보다 좁고 개체군 증식능력이 떨어진다. 남방고추과실파리는 다른 과실파리에 비하여 번식력이 떨어져서 경쟁력이 약한 것으로 알려져 있다(Vargas and Nishida, 1985b; Yang, 1992). 인도에서 가지 (*Solanum melongena*)를 기주식물로 사육한 결과 알기간은 1.2일, 전체 생활사는 18일 이었다 (Kumar and Agarwal, 2003).

표 3-1. 남방고추과실파리의 발육과 온도와의 관계 : 발육기간, 수명, 산란수

온도 (°C)	발육기간(d)			암컷수명 및 산란수				$R_m$	$T$	기주	인용문헌
	알	유충	용	산란전	수명	총산란	순산란				
16.0	9.3	24.0	28.3	14	58.5	70.2	1.4	-0.018	91.2	인공	Vargas et al. (1996; 1997)
18.0	5.7	14.5	24.8	10.4	80.3	408.6	173.4	0.055	73.1	인공	Vargas et al. (1996; 1997)
24.0	3.2	9.0	13.0	6.3	46.3	462.8	143.3	0.092	43.6	인공	Vargas et al. (1996; 1997)
26.5						945.2		0.12	46.6	가지	Ishida et al. (2005)
26.6	2.3	8.5	10.2	10.7	64.1	256.2		0.09	48.1	고추	Vargas and Nishida (1985)
29.0	2.0	7.3	9.2	5.3	36.4	379.8	169.3	0.119	31.7	인공	Vargas et al. (1996; 1997)
32.0	2.0	7.3	8.9	7.2	15	4.9	0.2	N	N	인공	Vargas et al. (1996; 1997)

실내사육결과에 따르면 발육영점온도(적산온도, DD)는 알 10.9°C (41.4DD), 유충 6°C (185.9DD), 용 9.4°C (193.9DD) 이며, 알-성충 발육에 필요한 적산온도는 421.2DD 이었다 (Vargas et al., 1996: 발육영점온도 무시 단순 합산하였음). 반면 중국에서 발육하한온도 15.7°C와 415.4DD를 적용하여 세대수를 추정하였다(Ma et al., 2012). 중국에서 월동 최저온도는 -3.7°C, 월하 최고온도 36°C로 추정되었다(Reviewed in EPPO, 2017: 중국출처의 학위논문에서 인용).

지금까지 알려진 남방고추과실파리의 온도별 발육기간, 암컷성충의 산란전기간 및 수명, 총산란수와 순산란수(부화된 알 수), 기타 생명표 통계량인 내적자연증가율( $R_m$ )과 세대기간( $T$ )은 표 3-1과 같다.

남방고추과실파리 수컷은  $\alpha$ -ionol에 유인되며(Flath et al., 1994), 케이드 오일(cade, 향나무 속 일종)을 추가하는 경우 유인력이 높아지지만(McQuate and Peck, 2001; McQuate et al., 2004), 다른 과실파리 유인제로 사용하는 ME 또는 Cue-lure 만큼 유인력이 좋지 못하다. ME와 구조적으로 유사한 물질인 isoeugenol, methyl-isoeugenol, dihydroeugenol 등은 포장실험에서  $\alpha$ -ionol + 케이드 오일 트랩보다 유인력이 저조하였다(McQuate et al., 2018).

단백질원의 종류도 유인력에 차이가 있는 것으로 보고되었으며, 단백질-미끼(Solulys AST, 옥수수 침지액(CSL, corn steep liquor) 발효로 생산된 단백질의 일종)가 토롤라 효모-미끼(Torula yeast) 보다 유인력이 좋았다(EPPO, 2017). 기타 탄자니아에서 검출조사시  $\alpha$ -ionol 유인제는 유인력이 저조하여 비실용적이었으며 실제로는 가지과 작물의 과실을 직접 조사하는 방법을 동원하였다.

표식재포획 실험(단백질 트랩이용)에서 방사후 이동거리는 200m를 초과하지 않았으며, 재포획률은 수컷 3.86%, 암컷 2.5% 이었다 (Peck and Mcquate, 2004).

남방고추과싹파리 성충의 저온사망률은 14 또는 15°C에서 90일 동안 30% 이상이 생존하였다(Takano, 2014). 또한 암컷성충 95% 사망에 필요한 소요 일 수는 8°C 13일, 10°C 29일, 12°C 38일 이었고, 동일 조건에서 수컷은 각각 8, 17, 24일 이었다. 따라서 일본 큐슈 남쪽지역에서 생존하지 못하는 것으로 추정되었다. 딱정벌레 일종에서와 같이(Renault et al., 2004) 남방고추과싹파리는 항온(12°C)보다 변온조건인 11°C (22h)/20°C (2h) (즉 평균 11.8°C)에서 생존률이 훨씬 증가하였다(Takano, 2014).

(나) 남방고추과싹파리의 분포

남방고추과싹파리는 동아시아와 동남아시아 지역에서 주로 분포한다. 현재는 아프리카 지역에서 발견되어 분포범위가 증가하고 있다.

○ 남방고추과싹파리 분포지역(CABI, 2018)

대륙	국가/지역	분포상황
아시아 (Asia)	브루나이 (Brunei Darussalam)	존재
	캄보디아 (Cambodia)	없음, 불확실
	중국 (China)	존재
	- 광둥성 (Guangdong)	존재
	- 광시 (Guangxi)	존재
	- 하이난성 (Hainan)	존재
	- 홍콩 (Hong Kong)	존재
	- 윈난성 (Yunnan)	존재
	동티모르 (East Timor)	존재
	인도 (India)	존재
	- 히마찰프라데시 주 (Himachal Pradesh)	존재
	- 카르나타카 주 (Karnataka)	존재
	- 케랄라 주 (Kerala)	존재
	- 타밀나두 주 (Tamil Nadu)	존재
	- 서벵골 주 (West Bengal)	존재
	인도네시아 (Indonesia)	존재
	일본 (Japan)	제한적으로 분포
	- 류큐 제도 (Ryukyu Archipelago)	존재
	요르단 (Jordan)	없음, 불확실
	라오스 (Laos)	존재
말레이시아 (Malaysia)	제한적으로 분포	
- 서 말레이시아 (Peninsular Malaysia)	존재	
- 사바 (Sabah)	존재	
파키스탄 (Pakistan)	존재	
싱가포르 (Singapore)	존재	

대륙	국가/지역	분포상황
	스리랑카 (Sri Lanka)	존재
	대만 (Taiwan)	존재
	태국 (Thailand)	존재
	베트남 (Vietnam)	존재
아프리카 (Africa)	케냐 (Kenya)	존재
	탄자니아 (Tanzania)	존재
북미 (North America)	미국 (USA)	제한적으로 분포
	- 캘리포니아 주 (California)	박멸됨
	- 하와이 주 (Hawaii)	존재



그림 3-1. 남방고추과실파리 분포지역  
(자료 : CABI 2018, <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8719>)



(다) 남방고추과실과리의 기주

남방고추과실과리는 고추, 가지, 토마토 등 가지과 작물이 주요한 기주식물이지만 박과류(Cucurbitaceae)에서도 발육할 수 있는 것으로 보고되었다(CABI, 2018).

또한 드물게 구아바(*Psidium guajava*), 석류(*Punica granatum*), 감귤류(*Citrus aurantifolia*)도 공격하는 것으로 나타났다(Allwood et al., 1999).

○ CABI(2018)의 기주목록

과명	학명	일반명	
Cucurbitaceae	<i>Citrullus lanatus</i>	watermelon	수박
	<i>Cucumis dipsaceus</i>	hedgehog gourd	박 일종
	<i>Diplocyclos palmatus</i>	-	-
	<i>Momordica</i>	-	-
Solanaceae	<i>Capsicum</i>	peppers	고추류
	<i>Capsicum annuum</i>	bell pepper	고추
	<i>Capsicum chinense</i>	habanero pepper	하마네로 칠리
	<i>Capsicum frutescens</i>	chilli	고추일종 타바스코
	<i>Lycopersicon pimpinellifolium</i>	currant tomato	토마토 일종
	<i>Physalis peruviana</i>	Cape gooseberry	금땅파리 골든베리 케이프 구즈베리
	<i>Solanum aethiopicum</i>	african scarlet eggplant	에티오피아 가지
	<i>Solanum anguivi</i>	-	-
	<i>Solanum incanum</i>	grey bitter-apple	-
	<i>Solanum lycopersicum</i>	tomato	토마토
	<i>Solanum macrocarpon</i>	local garden egg	가지 일종
	<i>Solanum melongena</i>	aubergine	가지
	<i>Solanum nigrum</i>	black nightshade	까마중
	<i>Solanum pseudocapsicum</i>	Jerusalem-cherry	예루살렘 체리
	<i>Solanum scabrum</i>	-	-
<i>Solanum torvum</i>	turkey berry	터키 베리	

(라) 남방고추과실과리 발생세대 예찰 매뉴얼

변온동물인 곤충은 온도에 따라 발육기간이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기 온도에 의해 영향을 받는다. 다만, 번데기 단계 기간은 토양 내에서 경과하므로 토양온도의 영향을 받는다. 곤충은 일정한 범위의 온도에서만 발육이 가능하다. 따라서 발육이 가능한 최저

온도인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온도(적산온도, degree-days, DD)을 추정하여 세대경과를 예측할 수 있다.

발육영점온도와 적산온도는 온도에 따른 발육기간에 대한 실험적 자료를 이용하여 추정한다. 표 3-1은 항온조건에서 남방고추과실과리의 발육기간을 보여주는 자료이다. 발육기간에 역수를 취하여 발육률로 변환시켜 종속변수(y)로 사용하고, 온도를 독립변수(x)로 취급하여 선형모형을 추정한다( $y=ax+b$ ). 이 선형모형에서 발육영점온도는  $-a/b$ 가 되며, 적산온도는  $1/a$ 가 된다.

기존자료를 종합하여(표 3-1) 남방고추과실과리 각 발육단계별 발육영점온도와 적산온도를 추정한 결과는 표 3-2에 제시되어 있다. 이 자료는 포장에서 예찰 작업시 특정 발육단계의 발육완료를 추정하는데 활용할 수 있다(세대기간인 알-알 기간에 필요한 산란전기간은 보정치를 사용하였음).

남방고추과실과리 침입후 발견 또는 박멸과정에서 발생세대수 추정은 의사결정을 위한 중요한 정보이다. 즉 상황에 따라 발생 세대기간에 따른 대응조치를 달리 적용한다. 이 때 각 발육단계의 발육영점온도와 적산온도를 이용하여 순차적으로 적산온도를 계산하여 세대기간을 추정할 수 있다. 즉 알, 유충, 번데기, 산란전기간이 완료되면 1세대가 완성되는 것으로 판단한다. 하지만, 이 방법은 정확할 수는 있으나 계산이 복잡하고 번데기 발육을 추정하기 위한 토양온도가 필요하기 때문에 현장에서 실용성이 떨어진다.

대체 방법으로 알-알기간의 세대기간을 적용할 수 있다. 알-알 세대기간의 발육영점온도  $10.4^{\circ}\text{C}$ 와 적산온도  $517.5\text{DD}$ 를 이용한다(Vargas et al. (1996)의  $421.2\text{D}$ , Ma et al.(2012)의  $415\text{DD}/15.7^{\circ}\text{C}$ 와 큰 차이가 있음). 이 방법은 대기온도자료만을 이용하여 신속하고 간편하게 남방고추과실과리 발생 세대수를 추정할 수 있는 장점이 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대(기상청)의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

표 3-2. 발육단계별 발육영점온도 및 발육완료에 필요한 적산온도

발육 단계	온도발육 선형모형			발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)
	회귀식(y: 발육율, x: 온도)	df	R <sup>2</sup>		
알	$y = 0.0294x - 0.3643$	4	0.99	12.4	34.0
유충	$y = 0.0068x - 0.0597$	4	0.97	8.8	147.1
번데기	$y = 0.0059x - 0.0620$	4	0.99	10.6	170.4
산란전기간	$y = 0.0057x - 0.0592$	4	0.99	10.4	175.5
알-알기간	$y = 0.0019x - 0.02013$	4	0.99	10.4	517.5

\* 산란전기간 : 천연먹이를 이용한 결과를 기반으로 보정값을 이용하였음

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며, 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 대기온도가 발육영점온도보다 낮은 경우 일유효온도는 “0”를 적용한다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 번데기의 경우 토양에서 존재하기 때문에 토양 온도가 필요하지만 생육기에는 대기 온도와 큰 차이가 없으므로 대기온도만을 이용하여 세대 완료를 추정할 수 있다. 최종 발견일(또는 최초발견일) 다음날부터 적산온도를 계산하여 517.5 DD(발육영점온도 10.4°C 적용) 되는 날이 1 세대가 완료되는 날이다(517.5 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

발생세대수 추정을 하는 동안 겨울철과 만나는 경우 적산온도가 누적되지 않기 때문에 진행되고 있는 세대가 다음연도로 넘어가서 완료될 수 있다. 이런 경우 현장조사 활동의 중단은 발생세대수가 아닌 평균 대기온도를 기준으로 결정한다.

남방고추과실파리의 발육단계별 발육영점온도(표 3-2참조)는 알 12.4°C, 유충 8.8°C, 번데기 10.6°C, 산란전기간 10.4°C가 된다. 대기온도 기준 일평균온도가 이 발육영점온도들 중 어느 발육 한 단계의 값 이하인 경우 발육이 중지되어 세대진전이 정지되는 것을 의미한다.

즉 10.4°C(즉, 산란전기간)를 적용하여 연속적으로 4일 이상 일평균대기온도가 10.4°C 이하로 내려가면 조사를 중단할 수 있다. 또한 연속적으로 4일 이상 일평균 대기온도가 10.4°C 이상 올라가면 조사를 재개한다. 조사를 재개한 경우 전년도(또는 이전)부터 이어서 계산한 적산온도에 근거한 세대수에 따라 현장 계속조사 여부에 대한 의사를 결정한다.

노지작물에서는 겨울동안 조사중지가 가능하지만 시설재배(특히 가온재배 온실)의 작물은 상황에 따라 위험도를 평가하여 조사를 계속 실시한다.

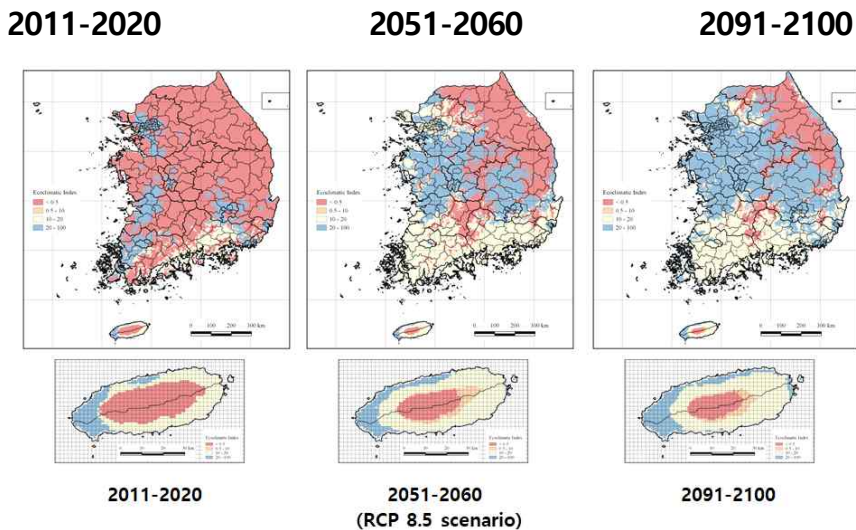
**차. 일본굴과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼**

(1) CLIMEX 모형 이용 일본굴과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 기존값(Wang et al., 2009)을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

**<일본굴과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>**

매개변수	추정값	매개변수	추정값
DV0	11.3	TTCSA	-
DV1	22	THCSA	-
DV2	29	TTHS	38
DV3	38	THHS	0.008
SM0	0.4	DTHS	-
SM1	0.5	DHHS	-
SM2	0.9	SMDS	0.4
SM3	2	HDS	-0.0001
TTCS	-	SMWS	2
THCS	-	HWS	0.006
DTCS	-	DVCS	-
DHCS	-	DVHS	-
DPD0	12	PDD	1,974
DPT0	18	DPD0	15
DPT1	8		



RCP8.5 기후시나리오에 따른 일본굴과실파리 기후적합 정착위험도 지도 (Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable, 0.50 - 9.99 = marginal, 10 - 19.99 = suitable, >20 = optimal and 100 = perfect)

(2) 일본굴과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 일본굴과실파리의 생활사

일본굴과실파리(*Bactrocera tsuneonis*)는 기주범위가 감귤류에 한정되어 있는 해충으로 일본, 중국 등에 분포하는 과실파리류이다. 주로 온대지역(일본)에 서식하는 일화성 해충으로 중

국과 일본에서는 휴면태인 번데기로 월동하는 과실파리 해충으로 알려져 있다(Zhang, 1989; Yasuda et al., 1994).

월동 번데기는 다음해 성충으로 우화하는데 일본 에히메에서는 평균적으로 6월 19일에 우화가 시작되고 6월 30일에 종료되었다(Kanazaki et al., 2011). 유인트랩을 이용하여 성충의 발생을 조사한 결과(2009년) 무방제 과원에서 6월 하순~7월 상순부터 성충 발생이 확인되기 시작했으며, 방제 과원에서는 7월 하순부터 성충이 확인되었다. 성충 최대 발생일은 8월 6일로, 이 때 교미하는 성충들도 다수 발견되었다. 8월 19에는 다수의 산란흔이 확인되었다. 또한 2010년 조사에서는 7월 7일 성충이 처음 확인되었고, 8월 10일~8월 17일 사이에 많은 성충이 포획되었다. 일본에서 Tatemoto(2008)가 10월 하순~11월 상순 두 과원에서 피해를 조사한 결과 각각 8~34%, 12~50%로 나타났다.

우화성충의 난소 내의 알은 7월 중순에는 50%가 성숙하며 산란전기간은 총 17~26일 이다(Fukai, 1953; Yasumatsu and Nagatomi, 1959). Nishi (2008)은 효모를 넣은 인공사료를 이용한 실험에서 이와 비슷하게 산란전기간을 24일이라고 하였고 암컷 수명은 평균 60~70일, 산란수는 140~165개로 나타났다. 포트재배 감귤에 산란시키는 경우 알과 유충기간의 합계는 거의 93일 (알: 23일, 유충: 70일) 이었다. 포장상태에서 일본귤과실파리 성비는 거의 1:1 로 유지된다. CABI/EPPO (2018) 문서에서는 알기간 1~3일, 유충 4~35일이고 용화 1~2주후 성충으로 우화하는 것으로 기록하고 있어 차이가 있다.

일본귤과실파리 성충의 먹이에 관해서는 감귤원 및 인접 산림에 서식하는 진딧물, 깍지벌레가 분비하는 감로가 유일한 먹이자원으로 알려져 있다(Yasumatsu and Nagatomi, 1959).

일본귤과실파리의 행동은 하루 중의 온도변화와 관계가 있는데, 감귤원은 일반적으로 주변보다 기온이 높으므로 한여름 기온이 높아지면 감귤원에서 빠져나와 인근의 서늘한 산림이나 계곡에 숨는 현상이 관찰되었다(Yasumatsu and Nagatomi, 1959). 산란은 오후 2시에서 해지기 전의 시간동안에 만 이루어진다(Nishi, 2008). 보통 한 개의 산란구멍이 발견되며 2~6개의 알이 보이지만 최종 유충 1마리만 살아 남는다(Weems and Fasulo, 2015).

미국 플로리다 지침서(Weems and Fasulo, 2015)에 따르면, 일본귤과실파리는 7월에서 8월에 주로(primary) 산란한다. 유충은 10월 첫째 날 나타나고 감귤 사냥(juice sack)을 섭식하기 시작하며 한 마리 유충이 2~10개의 사냥을 가해한다. 과실에 침입한 유충은 11월 상순경 다자라고 이때쯤 낙과되며, 과실에서 탈출한 노숙유충은 토양에서 번데기로 된다(중중 과실이 나무에 상태에서 유충이 탈출하는 경우도 있다).

종령유충은 15~25도 온도범위에서 모두 용화가 가능하였고, 20도에서 가장 빠르게 용화하였으며 용기간은 83~158일로 길다(Yasuda et al., 1994; 용 휴면, pupal diapause).

○ 일본굴과실파리 성충의 먹이인 감로 분비곤충과 그 기주식물

감로분비 곤충	기주식물
<i>Amphorophora lespedezae</i> Essig et Kuwana	<i>Lespedeza</i> sp.
<i>Aphis citricidus</i> Kirkaldy	<i>Citrus</i> spp.ect.
<i>Ceraphis quercus</i> Takahashi	<i>Quercus gilva</i> Blume
<i>Cereoplastes rubens</i> Maskell	<i>Citrus</i> spp. Etc.
<i>Greenidea kuwanai</i> Pergande	<i>Quercus gilva</i> Bume
<i>Lachnus tropicalis</i> van der Goot	<i>Quercus gilva</i> Bume
<i>Toxoptera aurantii</i> Boyer	<i>Eurya japonica</i> Thunberg

\* 출처 Yasumatsu and Nagatomi (1959)

- 3령 유충의 탈출행동의 경우 조생온주밀감에서 비교적 이르게, 만생온주밀감에서는 늦게, 아침온도가 내려간 날에 많이 탈출하였다. 그러나 탈출에는 어두움->밝음으로의 조도변화는 관여하지 않은 것으로 나타났다 (Nishi, 2008)

(나) 일본굴과실파리의 분포

일본굴과실파리는 일본, 중국, 동남아시아 일부지역에서 보고되었다.

○ 일본굴과실파리 분포지역(CABI/Plantwise, 2018)

국가	지역	분포상황
중국	Sichuan Sheng	일부지역 제한분포
	Hunan Sheng	분포(세부정보 부재)
	Guangxi Zhuangzu Zizhiqu	분포(세부정보 부재)
	Jiangsu Sheng	분포(세부정보 부재)
일본	Ryukyu Archipelago	분포(세부정보 부재)
	Kyushu	분포(세부정보 부재)
대만	Taiwan (N16.1, E107.8)	분포(세부정보 부재)
베트남	Vietnam (N24, E121)	분포(세부정보 부재)



그림 3-1. 일본귤과실파리 분포지역

(자료 : CABI/Plantwise 2018, <https://www.plantwise.org/>)

(다) 일본귤과실파리의 기주

일본귤과실파리는 감귤류(Citrus) 식물에 국한하여 발생하는 다른 작물에서는 보고되지 않았다.

○ CABI/Plantwise (2018)의 기주목록

과명	학명	일반명	
Cucurbitaceae	<i>Citrus aurantium</i>	sour orange	
	<i>Citrus reticulata</i>	mandarin	감귤
	<i>Citrus sinensis</i>	navel orange	
	<i>Fortunella margarita</i>	oval kumquat	
	<i>Fortunella x crassifolia</i>	meiwa kumquat	

(라) 일본귤과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

변온동물인 곤충은 온도에 따라 발육기간이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기 온도에 의해 영향을 받는다. 다만, 번데기 단계 기간은 토양 내에서 경과하므로 토양온도의 영향을 받는다. 곤충은 일정한 범위의 온도에서만 발육이 가능하다. 따라서 발육이 가능한 최저 온도인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온도(적산온도, degree-days, DD)를 추정하여 발생시기를 예측할 수 있다.

발육기간에 역수를 취하여 발육률로 변환시켜 종속변수(y)로 사용하고, 온도를 독립변수(x)로 취급하여 선형모형을 추정한다( $y=ax+b$ ). 이 선형모형에서 발육영점온도는  $-a/b$ 가 되며, 적산온도는  $1/a$ 가 된다.

일본귤과실파리는 일화성 곤충으로 번데기 단계에서 의무적 휴면에 들어가므로 침입후 발견 또는 박멸과정에서 발생세대수를 추정할 필요가 없다. 따라서 월동 번데기의 성충으로 우화시기와 성충의 수명(생존기간)을 기준으로 대응조치를 결정한다.

일본귤과실파리는 휴면상태의 번데기로 월동하며 10°C(이하)에서 90일 이상 노출되면 휴면이

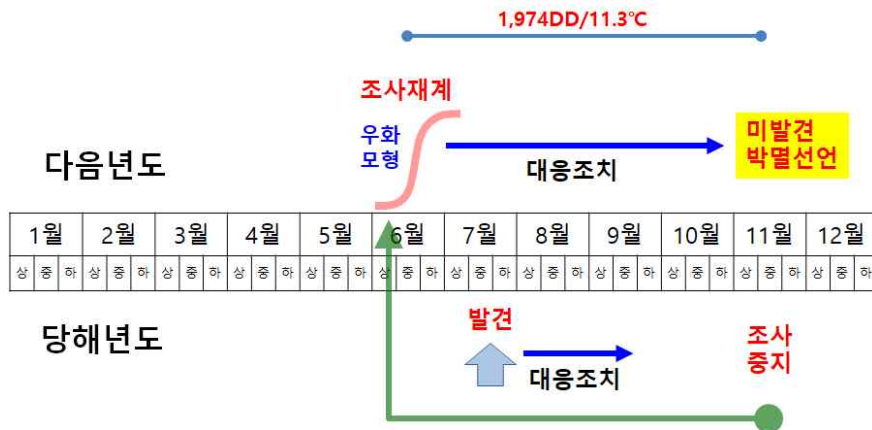
타파된다(Yasuda et al., 1994). 휴면이 타파되지 않은 번데기는 25°C에서 90.4일, 20°C에서 140일 후에 우화하며, 휴면을 마친 번데기의 25°C에서의 발육기간은 평균 43.38일이다(Narahara et al., 2006).

휴면이 타파된 번데기의 발육기간 비율(25°C : 43.38일/90일=0.4820)을 이용하여 20°C에서 휴면이 타파된 번데기의 발육기간 67.48을 추정하였다. 두 점을 이용하여 온도와 번데기 발육률과의 선형모형  $y = 0.0016x - 0.0181$ 을 수립하였다. 즉 적산온도 모형의 매개변수는 발육영점온도는 11.3°C, 유효적산온도는 625 DD로 추정되었다.

성충우화시기 추정은 1월 1일부터 온도를 누적하여 625 DD되는 날이 월동집단의 50%가 우화를 완료하는 시기이다. 토양온도(2~4cm 깊이)를 이용하는 것이 정확하지만, 대기온도에 0.8°C를 더하여 대략적인 토양온도로 취급할 수 있다. 대기온도자료(토양온도가 존재하는 경우 토양온도 이용 권고)는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대(기상청)의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용할 수 있다.

이 예찰모형은 일본굴과실파리 성충 예찰트랩의 설치 개시일과 모니터링 시점을 결정할 때 이용할 수 있다. 성충 우화일부터 모니터링을 시작하여 성충의 수명이 끝나는 10월부터는 성충 대상 예찰을 중지하고, 피해과실의 유충 모니터링을 강화한다.

일본굴과실파리는 년 1세대 발생하는 해충으로 발육영점온도 11.3°C을 적용하여 “월동번데기 발육(625DD)+산란전 발육(261.2DD)+알 발육(269.1DD)+유충 발육(819.0DD)”, 총 1,974DD이 되어야 지속발생이 가능하다. 따라서 적산온도 1,974DD를 기준으로 조사 종료 여부를 결정할 수 있다. 일본과실파리가 발견된 당해연도에 총 이 적산온도가 누적되면 조사를 종료하고 다음연도 해당 적산온도 종료까지 발견이 되지 않으면 박멸을 선언할 수 있다.



### 카. 중국굴과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

#### (1) 중국굴과실파리의 생활사

중국굴과실파리는 년 1회 발생하는 1화성 해충으로 번데기(puparium)로 월동하며(Zhang, 1989), 번데기는 비교적 강한 저온에 대한 내성을 갖고 있다(Fan et al., 1994). 중국 Sichuan 지역에서 성충 우화는 4월 하순 시작되고 우화 20일부터 교미하며, 그 후 15일부터 산란을 시작하였다. 그러나 알 부화 최성기는 9월 상순이며 10월 하순부터 11월 중순 번데기의 발생 최성기가 나타난다고 소개되었는데(CABI, 2015; Zhang, 1989의 문헌을 토대로 작성) 실제 중국에서 생활사와 일치하지는 않는다.



다우아그로사이언스 설명자료(내부자료)에 따르면 중국굴과실파리는 6월 중순 우화하고 성적 성숙을 위하여 25내지 35일 소요되며 100여개의 알을 낳은 것으로 기록하고 있다. 따라서 약제 살포(GF120)를 6월 상순에서 7월 상순까지 집중적으로 실시하도록 권고하고 있다.

중국학자의 발표자료(내부자료)에 따르면 성충이 5월 상순부터 출현하여 7월 하순까지 나타나고, 산란은 6월 상순에서 8월 하순까지 일어나며, 유충은 8월 상순부터 11월 상순까지 발생하는 것으로 표시하였고, 번데기는 11월 나타난다고 하였다. 6월 산란된 감귤은 100% 낙과되기 때문에 여름철 부패가 빨리 진행되어 11월까지 남아 있을 수 없기 때문에 현재 유통되고 있는 자료는 정확한 해석이 필요하다.

서부탄 지역에서 연간 생활사는 성충은 4월 하순에서 5월 상순 우화를 시작하고 대부분 5월 하순까지 성적 성숙이 완료되며, 수컷은 6월 상순부터 사라지기 시작하여 6월 중하순에선 드물거나 전혀 포획이 되지 않는다(Dorji et al., 2006). 암컷은 6월 상순부터 감귤원에서 채집되나 6월 중순까지는 산란이 거의 일어나지 않고, 대부분의 피해는 7월 중순에 나타나며, 성충은 8월 중에는 감귤원에서 사라지고 유충은 과실 낙화 후 용화되기 위하여 13일 이내 탈출하는 것으로 기록되어 있다(Dorji et al., 2006). 서부탄과 중국 자료를 바탕으로 중국굴과실파리의 연간 생활사를 정리하면 그림과 같다.

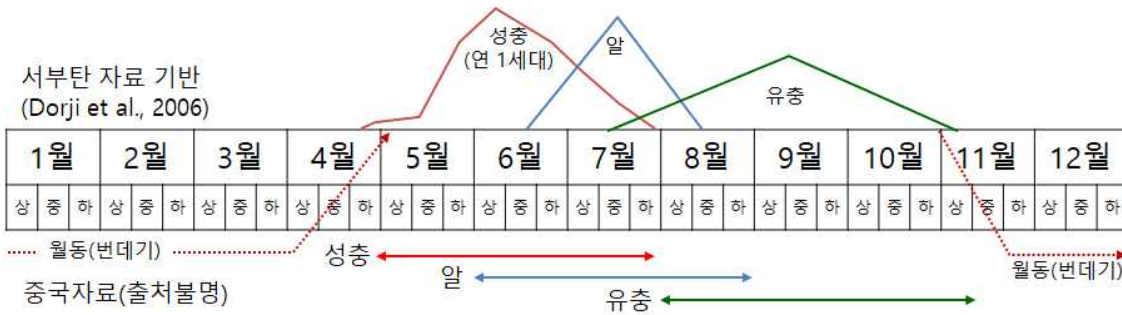


그림. 중국굴과실파리 연간 생활사

중국굴과실파리 번데기의 발육기간은 가온처리(25℃) 전 조건에 따라 차이가 매우 컸다 (Chen et al., 2014). 즉 10월 29일 용화된 개체를 가온 사육시 113.7일 만에 성충으로 우화하였으며, 용화 30일후 25℃로 옮겨 사육한 경우는 용기간이 122.6일로 가온조건에서 순수한 발육기간은 92.6일이 되었다. 또한 자연상태에서 3개월 방치 한 번데기를 25℃로 옮겨 사육한 경우 발육기간은 197.9일로 가온조건에서 기간은 107.9일이 되었다. 5개월 후 사육개체는 200일 이었는데, 야외기간을 제외하면 발육기간이 약 50일이 되었다. 본 자료는 중국굴과실파리는 조건적 휴면에 들어가고 일정한 자극(저온조건)을 받아야 휴면에서 깨어나서 휴면후 발육을 진행한다는 것을 나타내고 있다.

중국굴과실파리 번데기를 채집하여 순차적으로 가온(℃)하는 경우(2009~2010년, 중국 Hubei) 평균발육기간은 11월 20일 73.63일, 12월 21일 61.36일, 1월 27일 50.66일, 2월 25일 38.2일, 3월 27일 32.04일 이었다(Dong et al., 2013). 또한 중국굴과실파리 월동 번데기의 발육기간은 채집시기와 탈피호르몬 처리에 따라 다양한 반응을 보였다.

표. 중국굴과실파리 월동 번데기의 채집시기와 탈피호르몬 처리에 따른 우화까지 기간 즉 번데기 기간(처리온도 22°C)을 나타냄(Chen et al., 2016)

처리일	첫우화	평균	탈피호르몬	비고
2014. 11.20	103.4	124.9	43.4	
2014. 12.19	78.6	95.1	45.0	
2015. 01.19	52.8	65.2	43.4	
2015. 02.24	42.4	48.6	43.6	휴면타파
2015. 03.23	39.6	43.4	41.0	
2015. 04.20	25.0	32.0		발육진행

휴면이 타파되지 않은 상태에서 가온 사육하는 경우 월동 번데기의 발육기간은 매우 길었으며, 봄으로 가까울수록 짧아졌다. 즉 전년 11월 20일 채집하여 가온시 124.9일이 필요하였으며, 다음 해 4월 20일 가온은 32.0로 매우 짧아졌다. 이는 표에서 보듯이 3월 23일에는 거의 휴면이 타파된 상태에 있고 이때부터는 외부의 온도가 올라가면 발육이 진행되기 때문으로 판단할 수 있다. 탈피호르몬을 처리한 경우 바로 휴면 번데기가 성충으로 발육을 시작하기 때문에 일률적으로 43~45일의 발육기간을 나타냈고, 3월 23일 채집한 자료의 발육기간과 비슷하였다. 종합적으로 판단할 때 월동 번데기의 발육기간은 43.9일 정도로 추정된다(2014년 11월 20일~2015년 2월 24일 평균, 탈피호르몬 처리구).

중국굴과실파리에 대한 종합정보는 Xia et al.(2018)의 종설논문에서 잘 소개되어 있다.

## (2) 중국굴과실파리의 분포

중국굴과실파리는 부탄과 인도북서부 제한된 지역에 분포하며, 중국에서는 남중부지역에서 피해가 집중적으로 나타나고 있다(Wang and Luo, 1995; Xia et al., 2018). 중국 감귤류 재배지역을 중심으로 9개 지역(성)에서 발생하고 있다(Xia et al., 2018).

### ○ 중국굴과실파리 분포지역(CABI, 2018)

대륙	국가/지역	분포상황
아시아 (Asia)	부탄 (Bhutan)	존재
	중국 (China)	제한적으로 분포
	- 광시 (Guangxi)	존재
	- 구이저우성 (Guizhou)	존재
	- 후베이성 (Hubei)	존재
	- 후난성 (Hunan)	존재
	- 장쑤성 (Jiangsu)	존재
	- 장시성 (Jiangxi)	존재
	- 산시성 (Shaanxi)	존재
	- 쓰촨성 (Sichuan)	존재
	- 윈난성 (Yunnan)	존재
	인도 (India)	제한적으로 분포
	- 시킴 주 (Sikkim)	존재
	- 서벵골 주 (West Bengal)	존재

(3) 중국귤과실파리의 기주

중국귤과실파리는 감귤속(*Citrus* spp.) 기주식물에 국한하여 발생하는 것으로 알려져 있다. 기타 운향과(Rutaceae) 식물 중에서 탱자(trifoliate orange, *Poncirus trifoliata*), 금귤(kumquat, *Fortunella margarita*)에도 발생한다(Xia et al., 2018).

○ CABI(2018) 및 Xia et al.(2018)의 기주목록

과명	학명	일반명		비고
Rutaceae	<i>Citrus</i> spp.	citrus	감귤류	
	<i>Citrus aurantium</i>	sour orange	광귤 (bitter orange)	
	<i>Citrus junos</i>	-	유자	
	<i>Citrus limon</i>	lemon	레몬 (lemon)	
	<i>Citrus medica</i>	citron	시트론 (citron)	
	<i>Citrus poonensis</i>	ponkan	폰칸 (ponkan)	
	<i>Citrus reticulata</i>	mandarin	만다린	
	<i>Citrus tangerina</i>	-	탄제린	
	<i>Citrus unshiu</i>	Satsuma mandarin	귤	
	<i>Citrus vespocosa</i>	-	-	
	<i>Citrus x paradisi</i>	grapefruit	자몽	
	<i>Citrus maxima</i>	pummelo	포멜로	
	<i>Citrus sinensis</i>	navel orange	당귤, 오렌지	
	<i>Fortunella margarita</i>	-	금감, 금귤	
	<i>Fortunella x crassifolia</i>	meiwa kumquat	-	
	<i>Poncirus trifoliata</i>	Trifoliate orange	탱자	

(4) 중국귤과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

중국귤과실파리는 번데기 단계에서 의무적 휴면에 들어가는 종으로 년 1세대 발생하는 과실파리 해충이다. 번데기로 월동하여 다음해 성충으로 우화하고 알과 유충을 거쳐 번데기로 되었을 때 휴면에 들어간다.

따라서 중국귤과실파리가 예찰 트랩에 검출된 경우 발생세대수를 추정하여 박멸선언 등의 사결정을 진행할 수 없다. 따라서 월동 번데기의 성충으로 우화시기와 성충의 수명(생존기간)을 기준으로 대응조치를 결정한다.

Dong et al.(2013)과 Chen et al.(2016)의 자료에 따르면 휴면이 완전 종료된 상태에서 월동 번데기의 발육기간은 25°C에서 32.04일, 22°C에서 43.4일이 된다. 두 온도의 발육기간에 역수를 취하여 발육률(발육속도)을 계산하고 회귀분석을 이용하여 발육영점온도를 경험적으로 추정할 수 있다(두 점을 지나는 직선 추정).

추정한 선형 회귀식은  $y = 0.002723x - 0.036868$ 로 발육영점온도는 13.5°C, 발육완료에 필요한 적산온도는 367.2일도(DD, degree-days)가 된다.

성충우화시기 추정은 1월 1일부터 온도를 누적하여 367.2 DD되는 날이 월동집단의 50%가 우화를 완료하는 시기이다. 토양온도(2~4cm 깊이)를 이용할 수 있는 경우 우선적으로 적용하고, 없는 경우는 대기온도에 0.8°C를 더하여 대략적인 토양온도로 취급할 수 있다. 대기온도자료(토양온도가 존재하는 경우 토양온도 이용 권고)는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대(기상청)의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치

하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용할 수 있다.

시그모이드 함수식을 이용하여 월동집단이 시기별 성충으로 우화하는 비율을 추정할 수 있다.

$$y = \frac{1}{1+10^{(a-x)b}}$$

Kostal and Havelka(2001)이 제시한 매개변수(a = 50% 우화일, b = 변이)를 적산온도를 적용하여 환산하면 a = 367.2, b = 0.02757이 된다. 함수에서 x는 적산온도가 되며(발육영점온도 13.5°C 적용 1월 1일부터 누적), y는 우화비율을 나타낸다.

중국굴과실파리가 예찰트랩에 검출되었을 때 당해연도 모니터링의 중지 시기는 연간생활사를 바탕으로 정성적인 기준에 따라 결정한다. 중국굴과실파리 성충의 활동은 8월에 거의 중단되고 알의 발생도 8월 중순이후에는 보이지 않으므로 8월 하순에는 모니터링을 중단할 수 있다. 또한 착색되지 않은 감귤에 산란하므로 감귤 착색이 시작되면 조사를 중지할 수 있다.

이와 같이 조사를 중지하고 다음해 트랩조사의 재개는 시그모이드 우화모형을 이용하여 적어도 5% 우화일 전에 시작해야한다. 트랩조사의 중지는 발견 당해연도와 같은 요령으로 실시한다. 중국굴과실파리 발견시 당해연도와 다음연도까지 모니터링을 실시하고, 그 후 모니터링의 중지여부는 전문가들의 협의에 따라 결정한다.

#### 타. 타우과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

##### (1) 타우과실파리의 생활사

타우과실파리는 동남아시아와 아시아 남부 전지역에 걸쳐 연중 발생하는 종으로 박과류(Cucurbitaceae)의 중요한 해충이고, 호박과 토마토에 피해가 크다(White and Elson-Harris, 1992; Danjuma, 2018). 분포지역과 기주식물이 오이과실파리(*B. cucurbita*)와 중복되어 있고, 생물적 특성과 행동 특성이 서로 유사하여 종종 혼동되기도 한다(Narayanan and Batra, 1960). 타우과실파리의 생물적 특성은 지역 간 변이가 심하여 자매종이 존재하며(Jaleel et al., 2018), 인도에서는 Jaah 지역 개체군의 내적자연증가율이 가장 높은 것으로 보고되었다(Thakur et al., 2017).

타우과실파리는 산란 선택에서 오이, 호박, 수세미에 각각 23.68, 19.94, 21.18%의 선호성을 보이고, 가시박(kankrol: *Momordica cochinchinensis*)이 가장 선호하는 기주식물이었다(Huque, 2006). 동남아시아에서는 기주식물에 30~40%의 피해를 주는 종으로 알려져 있다(Jaleel et al., 2018). 인도에서는 오리엔탈과실파리나 카람볼라과실파리와 비교하여 피해가 적으며 연간 발생량이 낮게 유지된다고 보고하였다(Danjuma, 2018).

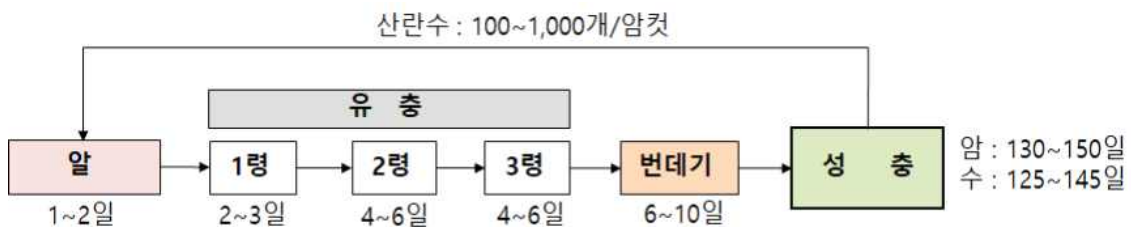


그림 1. 타우과실파리 생활사(Jaleel et al., 2018)

타우과실파리는 기주식물에 따라 발육기간, 성충수명, 산란수 등 생물적 특성에 매우 다르게 나타나는데(그림 1), 알기간 1~2일, 유충 10~15 일, 번데기 6~10 일이고, 성충수명은 암컷 130~150 일로 수컷보다 약간 길다. 산란수는 기주식물에 따라 차이가 심하며 수세미에서 최대 900 개 이상 산란하고, 인공사료를 제공한 경우 1,000 개 이상의 알을 낳는다(Liu and Lin, 2001). 기존 보고된 타우과실파리 온도별 발육기간, 수명 및 산란수 등 자료는 다음 표 1과 같다.

표 1. 타우과실파리 온도별 발육기간, 수명 및 산란수 기존자료

온도	알	유충	번데기	산란전 기간	수명 (암)	산란수	알-알기 간	사육 환경	기주식물	참고문헌
19	1.51	7.38	13.45	17		210.9	39.3	실내	오이	Zhou et al., 1994
19.69	3	17	11	22			53.0	포장	여주	Kabir et al., 1997
19.84	3	19	13	23			58.0	포장	여주	Kabir et al., 1997
22	1.35	6.99	11.86	13		211.9	33.2	실내	오이	Zhou et al., 1994
22.41	2.5	16	12	18			48.5	포장	여주	Kabir et al., 1997
24.26	2	12	10	16			40.0	포장	여주	Kabir et al., 1997
24.56	2	15	9	18			44.0	포장	여주	Kabir et al., 1997
25*				9.8	33.8	105.88	22.1	실내	토마토,오이	Thakur et al., 2017
25*				10.1	38.5	202.6	24	실내	토마토,오이	Thakur et al., 2017
25*				0.2	36.4	209.21	12.8	실내	토마토,오이	Thakur et al., 2017
25*				11.1	28.4	178.6	27.3	실내	토마토,오이	Thakur et al., 2017
25*				8.6	31.6	233.2	20.2	실내	토마토,오이	Thakur et al., 2017
25	1.3	6.9	7	11.6	111.9	464.6	41.0	실내	호박	Singh et al., 2010
25	1.03	6.09	10.02	12		524.4	29.1	실내	오이	Zhou et al., 1994
25	0.97	8.95	8.63	14.7			33.3	실내	파파야	Chen, 2001
27.17	1.5	11	8	14			34.5	포장	여주	Kabir et al., 1997
27.98	1.6	13	8	15			37.6	포장	여주	Kabir et al., 1997
28	0.86	5.27	7.15	10		375.8	23.3	실내	오이	Zhou et al., 1994
28	0.84	13.15	7.36		85.75	665.5	22.0	실내	여주	Liu and Lin, 2001
28	0.83	12.09	7.48		69.86	769.43	26.0	실내	멜론	Liu and Lin, 2001
28	0.84	11.92	7.85		90.2	910.9	28.0	실내	수세미	Liu and Lin, 2001
28	0.84	11.32	8.21		93	1099.1	30.0	실내	인공사료	Liu and Lin, 2001
28.84	1	10	7	11			29.0	포장	여주	Kabir et al., 1997
28.93	1.5	12	7	14			34.5	포장	여주	Kabir et al., 1997
29.2	1.3	10.5	7	12			30.8	포장	여주	Kabir et al., 1997
29.51	1.2	10.5	7	12			30.7	포장	여주	Kabir et al., 1997
29.8	1.4	11	7	13			32.4	포장	여주	Kabir et al., 1997
31	0.67	4.6	6.76	9		93.5	21.0	실내	오이	Zhou et al., 1994
34	0.66	4.93	7.72	11		0.51	24.3	실내	오이	Zhou et al., 1994

\* 상온(room temperature)을 25°C로 간주하였음

## (2) 타우과실파리의 분포

타우과실파리는 아시아 남부지역에 분포하며 오세아니아에서는 솔로몬제도에서 발견되는 것으로 알려져 있으면 기존자료를 종합하면 다음과 같다.

○ 타우과실파리 분포지역(Jaleel et al., 2018; EPPO/CABI 포함)

대륙	국가/지역	
아시아 (Asia)	방글라데시 (Bangladesh)	
	부탄 (Bhutan)	
	브루나이 다루살람 (Brunei Darussalam)	
	캄보디아 (Cambodia)	
	중국 (China)	
	- 충칭 (Chongqing)	
	- 푸젠성 (Fujian)	
	- 광둥성 (Guangdong)	
	- 광시 (Guangxi)	
	- 구이저우성 (Guizhou)	
	- 하이난성 (Hainan)	
	- 홍콩 (Hongkong)	
	- 후베이성 (Hubei)	
	- 산시성 (Shaanxi)	
	- 쓰촨성 (Sichuan)	
	- 티베트족 자치구 (Xizang)	
	- 윈난성 (Yunnan)	
	- 저장성 (Zhejiang)	
	인도 (India)	
	- 안다만 니코바르 제도 (Andaman and Nicobar Is.)	
	- 아루나찰프라데시 (Arunachal Pradesh)	
	- 비하르 (Bihar)	
	- 델리 (Delhi)	
	- 하리아나 (Haryana)	
	- 히마찰프라데시 (Himachal Pradesh)	
	- 잠무 카슈미르 (Jammu and Kashmir)	
	- 카르나타카 (Karnataka)	
	- 케랄라 (Kerala)	
	- 마하라슈트라 (Maharashtra)	
	- 메갈라야 (Meghalaya)	
	- 펀자브 (Punjab)	
	- 시킴 (Sikkim)	
	- 타밀 나두 (Tamil Nadu)	
	- 우타르 프라데시 (Uttar Pradesh)	
	- 서벵골 (West Bengal)	
	인도네시아 (Indonesia)	
	- 수마트라 (Sumatra)	
	라오스 (Laos)	
	말레이시아 (Malaysia)	
	- 서말레이시아 (Peninsular Malaysia)	
	- 사바 (Sabah)	
	- 사라왁 (Sarawak)	
	미얀마 (Myanmar)	
	싱가포르 (Singapore)	
	대만 (Taiwan)	
	태국 (Thailand)	
	베트남 (Vietnam)	
	오세아니아 (Oceania)	솔로몬제도 (Solomon Islands)

(3) 타우과실파리의 기주

타우과실과리는 박과류 식물뿐만 아니라 망고, 파파야, 오렌지, 만다린, 고추 등도 가해한다.

○ 타우과실과리의 기주목록 (Jaleel et al., 2018; CABI, 2018)

Family	Plant name	common name	일반명
Achariaceae	<i>Hydnocarpus anthelminticus</i>	-	-
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	mango	망고
Arecaceae	<i>Borassus flabellifer</i>	toddy palm	팔미라야자(palmyr apalm) 다라수
Caricaceae	<i>Carica papaya</i>	papaya	파파야 (papaya)
Celastraceae	<i>Siphonodon celastrineus</i>	Hyunja	-
Cucurbitaceae	<i>Benincasa hispida</i>	winter melon waxgourd	동과
	<i>Bryonia laciniosa</i>	ayurvedic herb	-
	<i>Citrullus lanatus</i>	watermelon	수박 (watermelon)
	<i>Coccinia grandis</i>	ivy gourd voigt scarlet gourd	-
	<i>Cucumis melo</i>	melon musk melon	멜론 (melon)
	<i>Cucumis sativus</i>	cucumber	오이 (cucumber)
	<i>Cucurbita maxima</i>	giant pumpkin	서양계 호박 (squash)
	<i>Cucurbita moschata</i>	pumpkin	호박 (pumpkin)
	<i>Cucurbita pepo</i>	marrow zucchini	호박 (marrow) 일종
	<i>Diplocyclos palmatus</i>	striped cucumber Jeffrey	-
	<i>Lagenaria siceraria</i>	bottle gourd	호리병박 (calabash)
	<i>Luffa acutangula</i>	angled luffa	비단 단호박 (ridge gourd)
	<i>Luffa aegyptiaca</i>	loofah towelgourd	수세미외
	<i>Momordica charantia</i>	bitter gourd	여주 (balsam apple)
	<i>Momordica cochinchinensis</i>	gac fruit	큰둥근여주 게육(geuk)
	<i>Siraitia grosvenorii</i>	-	나한과
	<i>Trichosanthes cucumerina</i>	snake gourd tropical vine subtropical vine	뱀오이
	<i>Trichosanthes dioica</i>	parval gourd pointed gourd	-

	<i>Trichosanthes laceribracteata</i>	-	-
	<i>Trichosanthes pilosa</i>	Japanese snake gourd	뱀오이 (snake gourd) 일종
	<i>Trichosanthes palmat</i>	Red ball snake gourd	-
	<i>Trichosanthes tricuspidata</i>	Tropical vine subtropical vine	-
Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris</i>	common bean	덩굴강낭콩 (bean)
Loganiaceae	<i>Strychnos thorelii</i>	-	-
Moraceae	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	jackfruit	잭프루트 (jackfruit)
	<i>Ficus racemosa</i>	cluster tree	영서화 우담화
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	guava	구아바
	<i>Syzygium samarangense</i>	Wax apple	왁스잠부 (wax jambu)
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i>	star fruit	카람볼라 (carambola, starfruit)
Passifloraceae	<i>Passiflora edulis</i>	passionfruit	패션프루트 (passion fruit)
Rutaceae	<i>Citrus maxima</i>	Pomelo	포멜로 (pomelo)
	<i>Citrus reticulata</i>	mandarin tangerine	만다린 (mandarine)
	<i>Citrus sinensis</i>	orange	당귤, 오렌지 (orange)
Sapindaceae	<i>Dimocarpus longan</i>	longantree	용안 롱간
Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i>	sapodilla	사포딜라 (sapodilla)
Solanaceae	<i>Capsicum annuum</i>	bell pepper	고추 (pepper)
	<i>Capsicum frutescens</i>	chili pepper	고추 (pepper) 일종
	<i>Solanum lycopersicum</i>	tomato	토마토 일종
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>	Grapes	유럽종 포도 (grape)

#### (4) 타우과실과리 발생세대 예찰 매뉴얼

곤충은 전형적인 변온동물로 온도에 따라 발육이 좌우된다. 알, 유충 및 성충의 생식발육은 대기온도에 의해 영향을 받으며, 다만 번데기 단계는 토양 내에서 경과함으로 토양온도의 지배를 받는다. 따라서 발육을 진행할 수 있는 최저온도의 개념인 발육영점온도와 발육완료에 필요한 총 온량을 적산하여(적산온도, degree-days, DD) 생활사의 경과를 예측할 수 있다.

Zhou et al. (1994) (실내항온실험, 기주 : 오이)가 제시한 발육영점과 유효적산온도는 알 15.75 DD/9.32°C, 유충 113.82 DD/6.67°C, 번데기 144.35 DD/9.30°C, 산란전기간 180.8 DD/8.56°C, 알-알기간 459.28DD/8.22°C 이다. 이 매개변수는 발육률이 선형구간에서 벗어나는 34°C를



포함하는 값으로 재추정한 매개변수는 표 2와 같다.

세대기간 추정에 사용할 수 있는 알-알기간의 발육영점온도와 적산온도는 각각 6.0°C과 525.4DD 이었다.

표 2. 타우과실과리 발육단계별 발육영점온도 및 적산온도 추정값

발육단계	선형 모형식	발육영점온도 (°C)	적산온도 (DD)	R <sup>2</sup>
알	$y = 0.0639x - 0.6032$	9.4	15.6	0.96
유충	$y = 0.0702x - 0.0541$	0.8	142.5	0.97
번데기	$y = 0.6760x - 0.0597$	8.8	148.0	0.94
산란전기간	$y = 0.4260x - 0.0203$	4.8	235.0	0.98
알-알 기간	$y = 0.1900x - 0.0115$	6.0	525.4	0.98

타우과실파리 박멸과정에서 최종발견 후 발생 세대수에 따라서 대응조치를 달리하게 되는데, 세대수는 세대기간 완료에 필요한 발육영점온도와 유효적산온도를 이용하여 추정할 수 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대의 기상 자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며 따라서 단위는 일도(DD)가 된다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 번데기의 경우 토양에서 존재하기 때문에 토양온도가 필요하지만 생육기에는 대기 온도와 큰 차이가 없으므로 대기온도 만을 이용하여 세대완료를 추정할 수 있다. 최종 발견일 다음날부터 적산온도를 계산하여 525.4 DD(발육영점온도 6.0°C 적용) 되는 날이 1 세대가 완료되는 날이다(525.4 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀 시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

타우과실파리는 원산지 열대 및 아열대 지역에서는 연중 발생하는 해충이고 자세한 생태가 알려져 있지 않으나 오이과실파리와 유사한 종으로 알려져 있다. 따라서 오이과실파리의 기준에 준하여 연속적으로 4일 이상 일평균대기온도가 14°C 이하로 내려가면 조사를 중단할 수 있다. 또한 연속적으로 4일 이상 일평균 대기온도가 14°C 이상 올라가면 조사를 재개한다.

파. 서인도제도과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

(1) CLIMEX 모형 이용 서인도제도과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 기존값(Fu et al., 2014)을 바탕으로 본 연구에서 추정된 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

<서인도제도과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>

기후요소	매개변수	적용값	기후요소	매개변수	적용값
Moisture Index	SM0	0.05	Cold Stress	TTCS	7.6
	SM1	0.1		THCS	-0.003
	SM2	1.1		DTCS	-
	SM3	1.6		DHCS	-
Temperautre Index	DV0	10	Heat Stress	TTHS	39
	DV1	20		THHS	0.00015
	DV2	30		DTHS	-
	DV3	36		DHHS	-
	PDD	642		DPD0	-
Dry Stress	SMDS	0.05	Diapause	DPT0	-
	HDS	-0.0001		DPT1	-
Wet Stress	SMWS	1.65		DPD	-
	HWS	0.001			

2011-2020

2051-2060

2091-2100

CLIMEX EI of *Anastrepha obliqua* in future Korea

서인도제도과실파리

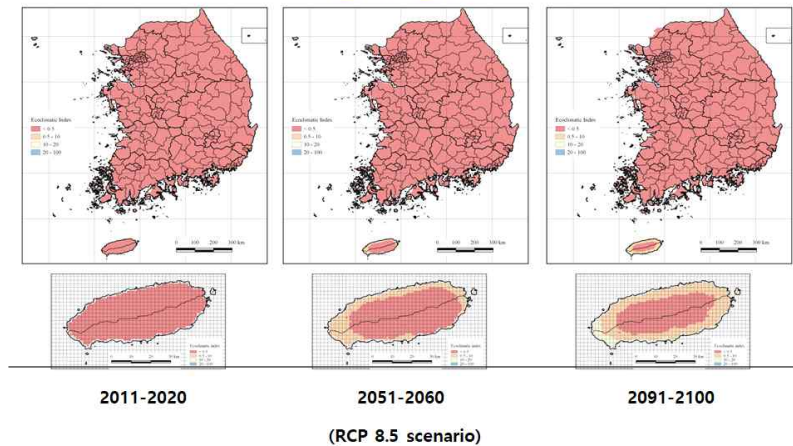


그림. 국내 정착적합도 추정. (A) RCP8.5 기후시나리오에 따른 서인도제도과실파리 기후적합 정착위험도 지도. Ecoclimatic Index (EI) 기준 : 0~0.49 = unsuitable, 0.5~9.99 = marginal, 10~19.99 = suitable, >20 = optimal, 100 = perfect (B) CLIMEX 모형 매개변수 적용값.

(2) 서인도제도과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 서인도제도과실파리의 생활사

서인도제도과실파리는 카리브해 남부에서 브라질에 걸쳐 발생하는 과실파리로 망고를 비롯한 아열대 과실의 중요한 해충이다(감귤 공격 가능). 분포지역에서 연간 6~7세대 발생하며 산

란전기간은 여름철 1주일, 겨울은 2~3주 소요된다(Weems et al., 2001). 알은 3~12일내 부화하여 유충은 15~32일 섭식하고 토양에서 번데기가 되며, 15~19일에 성충으로 우화한다(CABI, 2018AO). 이 과실파리는 계절적 발생량의 변이는 있지만(Hedstrom, 1993) 분포지역에서 연중 발생한다(Christenson and Foote, 1960).

멕시코에서 다양한 기주식물에서 과실파리류를 조사한 결과 서인도제도과실파리는 느릅나무과(Ulmaceae)에 속한 열대과일류 *Ampelocera hottlei*에서 우화하였으며, 천적으로 *Utetes anastrephae* (고치벌과), *Aganaspis pelleranoi* (기생혹과) 두 종 기생봉이 같이 우화하였고, 기생률 0~76.5%로 변이가 심하였다(Aluja et al., 2003). 토양 번데기 상태에서 천적의 기생률(병원성 곰팡이 포함)은 초기 8.6%에서 성충 우화기 15.3%로 증가는 하지만 전체 생존률 큰 영향을 미치지 못하였다(Bressan-Nascimento, S., 2001; 브라질).

강우량의 증가에 따라서 번데기에서 성충의 우화율 직접적으로 감소하였으나, 성충의 생존률에는 영향을 미치지 않았으며, 기주식물의 착과시기가 더 밀접히 관련되어 있었다(Montoya et al., 2008; 멕시코). 멕시코에서 10여종의 과실파리가 발생하는데 서인도제도과실파리는 주로 망고와 윗나무과에 속한 *jobo* 열매에서 발견되었다(Rodríguez-Rodríguez et al., 2018).

이 종은 형태적 변이가 심하여 콜롬비아에서 두 집단으로 분리되었으며, 멕시코 등 다른 지역 개체군과도 형태적 변이가 나타난다(Castañeda et al., 2015).

(나) 서인도제도과실파리의 분포

○ 서인도제도과실파리 분포지역(CABI, 2018AO)

대륙	국가/지역
북아메리카 (North America)	멕시코 (Mexico)
중앙아메리카 및 카리브해 일대 (Central America and Caribbean)	앤티가바부다 (Antigua and Barbuda)
	바하마 (Bahamas)
	바베이도스 (Barbados)
	벨리즈 (Belize)
	영국령 버진아일랜드 (British Virgin Islands)
	코스타리카 (Costa Rica)
	쿠바 (Cuba)
	도미니카 (Dominica)
	도미니카 공화국 (Dominican Republic)
	엘살바도르 (El Salvador)
	그레나다 (Grenada)
	과들루프 (Guadeloupe)
	과테말라 (Guatemala)
	아이티 (Haiti)
	온두라스 (Honduras)
	자메이카 (Jamaica)
	마르티니크 (Martinique)
	몬트세랫 (Montserrat)
	네덜란드령 안틸리스 제도 (Netherlands Antilles)
	니카라과 (Nicaragua)
파나마 (Panama)	
푸에르토리코 (Puerto Rico)	

	세인트키츠네비스 (Saint Kitts and Nevis)
	세인트루시아 (Saint Lucia)
	세인트빈센트그레나딘 (Saint Vincent and the Grenadines)
	트리니다드토바고 (Trinidad and Tobago)
	미국령 버진아일랜드 (United States Virgin Islands)
남아메리카 (South America)	브라질 (Brazil)
	콜롬비아 (Colombia)
	에콰도르 (Ecuador)
	가이아나 (Guyana)
	파라과이 (Paraguay)
	페루 (Peru)
	수리남 (Suriname)
	베네수엘라 (Venezuela)

(다) 서인도제도과실파리의 기주

○ 서인도제도과실파리의 기주목록 (CABI, 2018AO; da Silva and Zucchi, 1996)

Family	Plant name	common name	일반명
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i>	cashew	캐슈넛 (cashewnut)
	<i>Mangifera indica</i>	mango	망고 (mago)
	<i>Spondias dulcis</i>	vi-apple Otaheite-apple	암바렐라
	<i>Spondias mombin</i>	hogplum yellowmombin	호그플럼
	<i>Spondias nigrescens</i>	-	-
	<i>Spondias purpurea</i>	purplemombin redmombin	카자(cajá) 멤빈(mombin)일종
	<i>Spondias spp.</i>	-	-
Annonaceae	<i>Annona glabra</i>	pond-apple	폰드애플
	<i>Annona hayessi</i>	pawpaw	-
Chrysobalanaceae	<i>Chrysobalanus icaco</i>	coco-plum	코코플럼
Comretaceae	<i>Terminalia catappa</i>	tropical almond	카타파 (tropical almond)
Ebenaceae	<i>Diospyros digyna</i>	black sapote	블랙 사포테 (black sapote)
Myrtaceae	<i>Eugenia jambos</i>	jambos rose-apple pomarosa	로즈애플 (rose apple)
	<i>Eugenia nesiotica</i>	-	-
	<i>Eugenia stipitata</i>	araca-boi	아라카 보이
	<i>Eugenia uniflora</i>	Surinam cherry	피탕가(pitanga) 수리남체리(surinamcherry)
	<i>Myciaria cauliflora</i>	jabuticaba	-
	<i>Myciaria dubia</i>	camu-camu	-
	<i>Myrcia eximia</i>	azeitoninha	-
	<i>Psidium acutangulum</i>	araca-pera	-
	<i>Psidium guajava</i>	guava	구아바 (guava)
	<i>Syzygium malaccense</i>	malay-apple	말레이애플 (Malay apple)
Oxalidaceae	<i>Averrhoa carambola</i>	star fruit	스타프루트
Passifloraceae	<i>Passiflora quadrangularis</i>	passion-flower thegiantgranadilla	자이언트 그라나딜라 (giant granadilla)
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	loquat	비파 (loquat)
	<i>Prunus amygdalus</i>	bitter almond	스위트아몬드 편도
	<i>Prunus dulcis</i>	almond	아몬드
	<i>Prunus persica var. nectarina</i>	nectarine	승도 (nectarine)
Rubiaceae	<i>Coffea arabica</i>	arabica coffe	커피 (coffee)
Rutaceae	<i>Citrus aurantium</i>	sour orange	광귤 (bitter orange)
	<i>Citrus grandis</i>	pumelo	포멜로
	<i>Citrus paradisi</i>	grapefruit	자몽 (grapefruit)
	<i>Citrus spp.</i>	-	-

Salicaceae	<i>Dovyalis hebecarpa</i>	kitambilla Ceylongooseberry	실론 구스베리
Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i>	sapodilla	사포딜라 (sapodilla)
	<i>Pouteria caimito</i>	yellow zapote	아비우
	<i>Pouteria mammosa</i>	sapote	사포딜라 (sapodilla)
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>	California grape	포도

(라) 서인도제도과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

서인도제도과실파리는 카리브해 남부에서 브라질에 걸쳐 발생하는 과실파리로 망고를 비롯한 아열대 과실의 중요한 해충이다(감귤 공격 가능). 분포지역에서 연간 6~7세대 발생하며 산란전기간은 여름철 1주일, 겨울은 2~3주 소요된다. 여름철 유충과 번데기 기간은 10~13일이다(Weems et al., 2001).

서인도제도과실파리 온도발육은 잘 알려져 있지 않으나, Telles-Romero et al.(2011)은 번데기의 경우 18, 20, 25, 30°C에서 각각 28, 20, 13, 12일로 보고하였다. 이 자료를 이용하여 번데기의 발육영점온도를 추정한 결과 11.6°C 이었으며( $y=0.00579x-0.06739$ ; 선형구간을 벗어난 30°C 자료 제외), 이 값을 알-알기간의 발육영점온도로 적용하였다.

유충기간은 번데기기간과 동일한 값을 적용하였으며(Weems et al., 2001b), 산란전기간은 15일(Joachim-BravoI et al., 2003, 온도가 명시되지 않았으므로 25°C 임의 적용), 알기간 5일(27°C에서 7일을 감안; Artiaga-Lopez et al., 2002)을 적용하여 25°C에서 알-알 기간 46일을 기준으로 세대기간 완료에 필요한 적산온도는 약 616.4일도가 되었다.

Artiaga-Lopez et al.(2002)는 서인도제도과실파리 대량사육시 알기간은 3일 (27°C), 유충기간은 9일 (25°C), 용기간은 13일 (26°C), 산란전기간은 8일 (27°C) 로 보고하고 있다. 한편, Celedonio-Hurtado et al.(1988)는 28°C 조건에서 사육한 개체의 알, 유충, 용, 산란전기간을 조사하여 각각 3.14일, 9.03일 (망고에서), 12.94일, 8일로 보고하였다. 이에 항온 28°C에서의 총발육기간 33.11일을 기준으로 세대기간 완료에 필요한 적산온도 543.0일도(발육영점온도 11.6°C 적용)를 추정하였다.

서인도제도과실파리 박멸과정에서 최종발견 후 발생 세대수에 따라서 대응조치를 달리하게 되는데, 세대수는 세대기간 완료에 필요한 발육영점온도와 유효적산온도를 이용하여 추정할 수 있다.

대기온도자료는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균대기온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용한다.

일별 평균대기온도에서 발육영점온도 이상의 온도를 일유효온도라고 하며 따라서 단위는 일도(day degrees, DD)가 된다. 적산온도는 이 일유효온도를 누적하는 것이다. 번데기의 경우 토양에서 존재하기 때문에 토양온도가 필요하지만 생육기에는 대기 온도와 큰 차이가 없으므로 대기온도 만을 이용하여 세대완료를 추정할 수 있다. 최종 발견일 다음날부터 적산온도를 계산하여 543.0DD(발육영점온도 11.6°C 적용) 되는 날이 1세대가 완료되는 날이다(543 DD와 정확하게 일치하지 않는 경우는 이 적산온도 값을 초과하는 첫날을 1세대 완료일로 취급한다). 제공된 엑셀시트(사용법: 부록 1)를 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

서인도제도과실파리는 원산지 열대 및 아열대 지역에서는 연중 발생하는 해충이고 자세한 생애가 알려져 있지 않은 상태이다. 조사중단 및 다음연도 조사개시 기준은 오리엔탈과실파리의 매뉴얼에 따른다.



하. 사과과실파리 생태분석 및 긴급조치대응 예찰매뉴얼

(1) CLIMEX 모형 이용 사과과실파리 기후적합도 평가

클라이맥스 모형을 이용하여 RCP8.5 기후시나리오에 따른 국내 기후적합성을 평가하였다. 모형의 매개변수는 기존값(Geng et al., 2011)을 바탕으로 본 연구에서 추정한 온도발육매개변수 중 발육영점온도와 세대기간 적산온도를 반영하여 적용하였다. 분석방법은 오리엔탈과실파리 부분에 상세히 기술하였다.

<사과과실파리 CLIMEX 모형 매개변수 적용값>

기후요소	매개변수	적용값	기후요소	매개변수	적용값
Moisture Index	SM0	0.2	Cold Stress	TTCS	-
	SM1	0.6		THCS	-
	SM2	1		DTCS	-
	SM3	1.5		DHCS	-
Temperautre Index	DV0	8.3	Heat Stress	TTHS	33
	DV1	15		THHS	0.0005
	DV2	25		DTHS	-
	DV3	31		DHHS	-
	PDD	1065		DPD0	12.1
Dry Stress	SMDS	0.2	Diapause	DPT0	20
	HDS	-0.001		DPT1	5
Wet Stress	SMWS	1.5		DPD	83
	HWS	0.02			

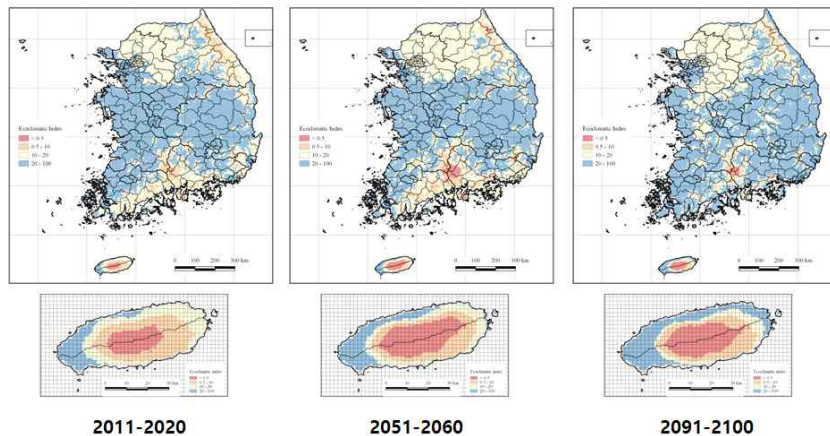
2011-2020

2051-2060

2091-2100

CLIMEX EI of *Rhagoletis pomonella* in future Korea

사과과실파리



(RCP 8.5 scenario)

그림. 국내 정착적합도 추정. (A) RCP8.5 기후시나리오에 따른 사과과실파리 기후적합 정착위협도 지도. Ecoclimatic Index (EI) 기준 : 0~0.49 = unsuitable, 0.5~9.99 = marginal, 10~19.99 = suitable, >20 = optimal, 100 = perfect (B) CLIMEX 모형 매개변수 적용값

(2) 사과과실파리 생태 및 긴급조치대응 발생세대 예찰 매뉴얼

(가) 사과과실파리의 생활사

사과과실파리는 번데기 상태로 토양에서 월동하며 대부분 연 1회 발생하지만, 휴면은 조건적이고(Feder et al., 1997) 극히 일부 개체군은 휴면없이 재발생할 수 있다(Chen et al., 2002).

성충은 과실 표피 밑에 하나씩 알을 낳고 3 ~ 7 일 경과하면 알이 부화한다. 과실 내에서 유충의 발육은 2 주일 ~ 수개월 소요될 수 있으며, 대부분의 경우 산란된 과실을 낙과한다. 유충은 낙과 과실 속에서 성숙하여 탈출하고 토양 2 ~ 5 cm 깊이에서 번데기로 된다. 월동 번데기(휴면) 일반적으로 다음해 성충으로 우화하지만 토양에서 수년동안 잠복하는 경우도 있다(CABI, 2018). 성충은 다른 과실파리류와 같이 곤충이 분비하는 감로, 새 배설물을 섭식하면서 우화 7 ~ 10일후 성적성숙이 이루어진다. 성충은 3 ~ 4주 생존(40 일)하면서 200여 개의 알을 낳는다.

미국 오레곤주에서 성충우화시기는 년도와 기주식물에 따라 달랐는데, 사과개체군이 약간 일찍 우화하였으며 산사(hawthorn) 개체군 1~2 주에 앞서 발생최성기를 나타냈다(Aliniaze and Westcott, 1987). 또한 가장 일찍 우화한 날은 6월 28일(1983년)이었고, 가장 늦게 채집된 날을 10월 24일(1984년)이었다.

미국 유타주에서 조사한 성충우화자료를 이용하여 발육영점온도 6.7°C를 적용하였을 때 적산온도에 따른 누적우화율은 다음식과 같았다( $\alpha=1,180$ ,  $\kappa=65$ ) (Jones et al., 1989).

$$f(x) = \frac{(\alpha\kappa)^\kappa x^{\kappa-1} \exp(-\kappa\alpha x)}{\kappa-1}$$

지금까지 사과과실파리 월동번데기의 다양한 우화모형이 제시되었다.

미국 뉴욕주에서 성충우화(트랩) 경험적 자료를 이용하여 추정된 결과 발육영점온도를 6.4°C로 하고 3월 1일부터 적산온도를 계산하여 627.5 DD 될 때가 초발생일 이었다(Reissig et al., 1979)

캐나다 온타리오에서 트랩자료를 이용하여 성충우화시기를 추정된 결과 발육영점온도 8.7°C로 했을 때 50% 우화시기는 809.0 DD 이었고, 초발일 6.4°C를 적용하여 638 DD 이었다(Laing and Heraty, 1984).

다양한 인공사료로 사육했을 때 산란전기간은 효모-자당(sucrose)+산사열매 9.7 일(산란수 6.49 개/암컷), 자당+산사열매 14.8 일(산란수 0.33 개/암컷), 자당+인공열매 16.5 일(산란수 0.02 개/암컷) 이었으며 자당을 공급하지 않고 산사열매만으로는 성충이 생존하지 못하였다(Hendrichs et al., 1993). 어떤 경우도 먹이로 효모를 제공했을 때 정상적인 산란이 가능하였다.

사과과실파리는 기주식물의 분포에 따라 휴면생태 등 생활사를 빠르게 변환하면서 적응하는 것으로 알려져 있다(Mattsson et al., 2015). 또한 미국 워싱턴주에서 사과과실파리 발생과 관련이 높은 환경변수는 겨울철 높은 평균저온, 저고도 지역, 높은 지표 피복도 등이었다(Wakie et al., 2019).

#### (나) 사과과실파리의 분포

원산지로 알려진 미국 동부지역에서는 1860년대까지도 사과의 심각한 해충으로 크게 알려지지 않았다(Dean and Chapman, 1973). 그러나 미국 서부와 캐나다 등 지역으로 확대되면서 사과의 심각한 해충으로 자리 잡았다.

○ 사과과실파리 분포지역(CABI, 2018RP)

대륙	국가/지역	분포상황
북아메리카 (North America)	캐나다 (Canada)	제한적으로 분포
	- 브리티시컬럼비아 주 (British Columbia)	제한적으로 분포
	- 매니토바 주 (Manitoba)	존재
	- 뉴브런즈윅 주 (New Brunswick)	존재
	- 노바스코샤 주 (Nova Scotia)	존재
	- 온타리오 주 (Ontario)	존재
	- 프린스에드워드아일랜드 주 (Prince Edward Island)	존재
	- 퀘벡 주 (Quebec)	존재
	- 서스캐처원 주 (Saskatchewan)	존재
	멕시코 (Mexico)	존재
	미국 (USA)	널리 존재
	- 아칸소 주 (Arkansas)	존재
	- 캘리포니아 주 (California)	널리 존재
	- 콜로라도 주 (Colorado)	널리 존재
	- 코네티컷 주 (Connecticut)	널리 존재
	- 델라웨어 주 (Delaware)	널리 존재
	- 플로리다 주 (Florida)	널리 존재
	- 조지아 주 (Georgia)	널리 존재
	- 아이다호 주 (Idaho)	존재
	- 일리노이 주 (Illinois)	널리 존재
	- 인디애나 주 (Indiana)	널리 존재
	- 아이오와 주 (Iowa)	존재
	- 캔자스 주 (Kansas)	존재
	- 메인 주 (Maine)	널리 존재
	- 메릴랜드 주 (Maryland)	널리 존재
	- 매사추세츠 주 (Massachusetts)	널리 존재
	- 미시간 주 (Michigan)	널리 존재
	- 미네소타 주 (Minnesota)	널리 존재
	- 미시시피 주 (Mississippi)	널리 존재
	- 미주리 주 (Missouri)	널리 존재
	- 몬타나 주 (Montana)	존재
	- 네브래스카 주 (Nebraska)	존재
	- 뉴햄프셔 주 (New Hampshire)	널리 존재
	- 뉴저지 주 (New Jersey)	널리 존재
	- 뉴욕 (New York)	널리 존재
	- 노스캐롤라이나 주 (North Carolina)	널리 존재
	- 노스다코타주 (North Dakota)	널리 존재
	- 오하이오 주 (Ohio)	널리 존재
	- 오레곤 주 (Oregon)	널리 존재
	- 펜실베이니아 주 (Pennsylvania)	널리 존재
	- 로드아일랜드 주 (Rhode Island)	널리 존재
	- 사우스캐롤라이나 주 (South Carolina)	널리 존재
	- 사우스다코타 주 (South Dakota)	존재
	- 텍사스 주 (Texas)	널리 존재

	- 유타 주 (Utah)	제한적으로 분포
	- 버몬트 주 (Vermont)	널리 존재
	- 버지니아 주 (Virginia)	널리 존재
	- 워싱턴 (Washington)	존재
	- 웨스트버지니아 주 (West Virginia)	널리 존재
	- 위스콘신 주 (Wisconsin)	널리 존재
	- 와이오밍 주 (Wyoming)	존재

(다) 사과과실파리의 기주

○ CABI(2018)

Family	Plant name	common name	일반명
Rosaceae	<i>Amelanchier</i> spp.	-	채진목
	<i>Aronia</i> spp.	-	아로니아
	<i>Cotoneaster</i> spp.	-	개야광나무
	<i>Crataegus</i> spp.	hawthorn	-
	<i>Crataegus douglasii</i>	river hawthorn	산사나무 일종
	<i>Crataegus mollis</i>	ornamental hawthorn	산사나무 일종
	<i>Crataegus monogyna</i>	ornamental hawthorn	산사나무 일종
	<i>Malus</i> spp.	crabapple	-
	<i>Malus baccata</i>	Siberian crabapple	야광나무
	<i>Malus domestica</i>	apple	사과 (apple)
	<i>Prunus americana</i>	plum	북미계 자두
	<i>Prunus angustifolia</i>	Chickasaw plum	-
	<i>Prunus armeniaca</i>	apricot	살구 (apricot)
	<i>Prunus avium</i>	sweet cherry	양벚나무
	<i>Prunus cerasus</i>	sour cherry	신양벚나무
	<i>Prunus mahaleb</i>	mahaleb	마할렙 벚나무
	<i>Prunus persica</i>	peach	복숭아 (peach)
	<i>Prunus virginiana</i>	chokeberry	초크체리
	<i>Pyracantha coccinea</i>	pyracantha	피라칸다 (pyracantha)
	<i>Pyrus communis</i>	pear	서양배 (pear)
<i>Rosa carolina</i>	-	-	
<i>Rosa rugosa</i>	Japanese rose	해당화	

(라) 사과과실파리 발생세대 예찰 매뉴얼

사과과실파리는 번데기 발육단계에서 의무적 휴면으로 월동하는 종으로 년 1세대 발생하는 과실파리 해충이다. 번데기로 월동하여 다음해 성충으로 우화하고 알과 유충을 거쳐 번데기로 되었을 때 휴면에 의무적으로 들어간다. 단 일부개체는 의무적 휴면에 들어가지 않거나 토양에서 수년간 잔존하는 경우도 보고되어 있다. 침입 초기의 경우 소량의 초기 개체군이 형성되게 됨으로 일부분의 예외 사항은 고려대상이 아닐 수 있다.

따라서 사과과실파리가 예찰 트랩에 성충이 검출된 경우 발생세대수를 추정하여 박멸선언 등 의사결정을 진행할 수 없다. 따라서 월동 번데기의 성충으로 우화시기와 성충의 수명(생존기간)을 기준으로 대응조치를 결정한다.

사과과실파리 번데기의 성충으로 우화모형은 여러 종류가 있으며 그 중 국내 적용이 가능한 모형은 발육영점온도 8.7°C와 적산온도 809 DD (50% 우화기)의 캐나다 온타리오 모형(Laing and Heraty, 1984)으로 판단된다. 이 기본 매개변수를 Weibull 함수에 적용하여 0~100%까지 누적우화율을 추정할 수 있다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-(x-a)/b)}$$

매개변수 a는 대략 50%의 분포확률을 나타냄으로 '809' 값으로 대체하고, 곡선의 기울기를 나타내는 b는 '75'값을 사용한다. 이 값은 "초발일은 6.4°C를 적용하여 638 DD 이다(Laing and Heraty, 1984)"는 보고에 따라 Weibull 함수 출력값이 이 범위를 포함하도록 경험적으로 조절하여 얻었다.

성충우화시기 추정은 1월 1일부터 온도를 누적하여 809 DD되는 날이 월동집단의 50%가 우화를 완료하는 시기이다. 토양온도(2~4cm 깊이)를 이용할 수 있는 경우 우선적으로 적용하고, 없는 경우는 대기온도에 0.8°C를 더하여 대략적인 토양온도로 취급할 수 있다. 대기온도자료(토양온도가 존재하는 경우 토양온도 이용 권고)는 발견 또는 발생된 지점에서 가장 기후학적으로 가까이 있는 기상대(기상청)의 기상자료를 이용한다. 기타 이동형 데이터 로거를 설치하여 현장의 온도를 직접 수집하고 그 값을 이용할 수도 있다. 일평균온도를 이용하여 적산온도를 계산하는데, 일 최고온도와 최저온도를 알고 있는 경우 평균온도[(최고+최저)/2]로 계산하여 사용할 수 있다.

Weibull 함수식을 이용하여 월동집단이 시기별 성충으로 우화하는 비율을 추정할 수 있다.

발생세대수 추정 및 박멸활동 의사결정 : 사과과실파리 성충이 예찰트랩에 검출되었을 때 당해연도 모니터링의 중지 시기는 연간생활사를 바탕으로 결정한다. 사과과실파리 성충의 활동은 10월 상순에 거의 중단됨으로 10월 중순부터는 성충 모니터링을 중단할 수 있다. 단, 기주식물을 찾아서 유충의 모니터링은 계속 수행한다.

이와 같이 조사를 중지하고 다음해 트랩조사의 재개는 Weibull 우화모형을 이용하여 적어도 5% 우화일 전에 시작해야한다. 트랩조사의 중지는 발견 당해연도와 같은 요령으로 실시한다.

사과과실파리 발견시 당해연도와 다음연도까지 모니터링을 실시하고, 그 후 모니터링의 중지 여부는 전문가들의 협의에 따라 결정한다.

또한 사과과실파리 성충이 발견(발생)된 상황의 이해가 필요하며, 다음과 같은 경우를 가정할 수 있다.

① 성충활동시기가 아닌 시기에 발견되는 경우

- 월동 번데기에서 우화성충은 보통 5월 하순부터 시작되어 10월 하순까지 야외에서 관찰된

다. 5월 중순이전 발견되는 성충은 기상(기류) 등 요인으로 장거리 이동에 따른 것일 가능성이 크다.

- 중국남부나 동남아지역에 분포하는 종이 아니므로 장거리 이동의 확률은 매우 낮다.

② 성충우화기 발견되는 경우

- 5월 하순에서 7월 상순 사이에 발견되는 경우는 전년도 유입된 개체의 월동집단일 가능성이 높다.

- 지역에 따라 온도조건이 상이하므로 우화모형을 활용하여 우화시기를 추정하여 판단한다.

- 유충에 감염된 과실을 통하여 유입된 경우 생존한 개체는 토양에서 번데기로 되기 때문에 더 이상 번식이 일어나지 않아서 당해연도 급속한 밀도증가는 유발되지 않는다. 따라서 다음해 예찰트랩에 검출확률이 낮을 수 있다.

- 결과적으로 성충이 발견되면 성충예찰과 더불어 기주식물의 과실을 더 집중적으로 조사해야 한다.

③ 기타 번데기에 오염된 토양, 배지 등 대형화물을 통하여 유입된 경우가 있을 수 있으나, 이럴 확률은 매우 낮다.

## 제7장 금지급 과실파리 그룹별 예찰 매뉴얼

### 가. 메틸유제놀(Methyl eugenol: ME) 유인 과실파리 생태 및 발생예찰

유인제 ME-그룹은 기본적으로 Dorsalure(1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)benzene)을 유인제로 사용하는 과실파리 종류로서 화학적으로 유사한 구조의 다양한 유인제가 종에 적용 적용되고 있다. 이 그룹에는 ME(Methyl Eugenol), MI(Methyl Isoeugenol), DE(dihydroeugenol), IE(Isoeugenol), ZN(Zingerone), EGO(enriched ginger oil) 등의 유인제가 포함되어 있다.

#### (1) 자비스과실파리(*Bactrocera jarvisi*)

호주 전지역에 분포하는 과실파리로 망고의 중요한 해충으로 알려져 있으며(CABI, 2017bj) 분포지역은 야생기주식물인 코키 사과(cocky apple)과 밀접히 연관되어있다(Dominiak and Worsley, 2017). 기존에 수컷 유인제로 Cue-lure가 알려져 있지 않으며(Margosian et al., 2007), 근래 야외 실험결과 진저론(zingerone)에도 잘 유인되는 것으로 알려져 있다(Fay, 2012). 따라서 유인제로 진저론을 사용할 수 있을 것이다.

온도발육 등 생태자료가 알려져 있지 않은 과실파리로 호주에서 같이 분포하고 같은 유인제를 사용할 수 있는 퀸즐랜드과실파리에 준하여 예찰모형을 적용한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Drew and Romig, 1997; Margosian et al., 2007; PBCRC, 2019bj)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물	인과류: 배, 사과 채소류: 토마토	
기주기록	감귤류: 오렌지, 자몽 인과류: 마르멜로 준인과류: 감 장과류: 석류 핵과류: 복숭아(*), 살구 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 구아바(*), 망고(*), 바나나(*), 열대아몬드, 파파야(*), 호코테	

\* USDA에서 아몬드(sweet almond)를 기주로 표기한 것은 White and Elson-Harris (1992)의 열대아몬드 기록에서 유래한 것으로 보임

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Leblanc et al., 2012; CABI, 2017bj; Plant Health Australia, 2018)



분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	오세아니아: 호주(동부와 북부. Northern Territory, New South Wales, Queensland, Western Australia (Broome))	
분포기록	아시아: 인도네시아(West Papua) 오세아니아: 파푸아뉴기니	존재유무만 언급된 경우

### (2) 크라우스과실파리(*Bactrocera kraussi*)

호주 동북부에 분포하는 주요 다식성 해충으로 망고, 구아바, 바나나, 만다린, 오렌지 등 중요한 과수의 과일에서 발생한다(PBCRC, 2019bk). Cue-lure에도 유인되나(Margosian et al., 2007) isoeugenol에 더 잘 유인되는 것으로 알려져 있다(Royer, 2015).

생태자료가 없는 상태로 형태적으로 매우 유사한(PBCRC, 2019) 퀸즐랜드과실에 준하여 세대예찰을 실시한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Plant Health Australia, 2018; PBCRC, 2019bk)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		*심한 피해 **실내사육 성공 ***검정요
기주기록	감귤류(*): 만다린, 오렌지, 자몽 핵과류: 복숭아 열대작물: 구아바(*), 망고(*), 바나나(*), 열대재배 체리 ( <i>Eugenia brasiliensis</i> ), 카람볼라	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 호주(동북부. Queensland, Torres Strait Islands)	존재유무만 언급된 경우

### (3) 뉴칼레도니아과실파리(*Bactrocera curvipennis*)

이 종은 뉴칼레도니아에 제한적으로 서식하나, 꿀류를 비롯한 다양한 식물들을 가해하는 다식성 해충으로 기존 유인제로 적용하고 있는 Cue-Lure (Margosian et al., 2007; Leblanc and Amice, 2000) 보다 ME에 15배 이상 유인력이 더 높은 것으로 보고되었다(Royer et al., 2019). 뉴칼레도니아에서 우점하였으나 퀸즐랜드과실파리 침입후 경쟁적으로 배제되고 있다(Amice and Sales, 1997).

생태자료가 알려져 있지 않으며 경쟁종인 퀸즐랜드과실파리나 작은퀸즐랜드과실파리와 유전적으로 가까운 종으로 보고되었다(Krosch et al., 2012). 따라서 퀸즐랜드과실파리 세대모형에

준하여 예찰모형을 적용할 수 있다.

○ 기주식물 (인용문헌: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; PBCRC, 2019bcu)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		
기주기록	감귤류(*): 금귤, 라임, 레몬, 만다린, 시트론, 오렌지, 자몽, 탄제린, 포멜로 견과류: 인과류: 비파 준인과류: 장과류: 딸기, 무화과속 일종( <i>Ficus pancheriana</i> ), 오디 채소류(*): 토마토, 피망(bell pepper) 핵과류: 대추, 복숭아(*), 자두 열대작물: <i>Annona</i> 류(*), <i>Syzygium</i> 류(*), 구아바(*), 망고(*), 바나나(**), 사포테(*), 열대아몬드, 열대재배 자두( <i>Ximenia americana</i> ), 열대재배 체리( <i>Eugenia uniflora</i> ), 카람볼라(*), 캐슈넛, 커피(*), 파파야(*), 패션프룻	*심한 피해 **실내사육 성공 ***검정요

○ 분포지역 (인용: Allwood et al., 1999; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bcu; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 뉴칼레도니아, 바누아투(Aneityun island)	존재유무만 언급된 경우

#### (4) 키르크과실파리(*Bactrocera kirki*)

이 종은 사모아, 폴리네시아, 피지, 통가 등에 분포하는 종으로 아보가도, 체리, 구아바, 망고, 말레이 사과 등에 피해를 준다(ACIAR, 2017). ACIAR(2017)에 *B. kirki*는 산란 2일내 부화하고, 산란후 18~20일 성충으로 우화하는 것으로 기록되어 있다. 기타 *B. xanthodes*, *B. distincta*, *B. obscura*, *B. aenigmatica*, *B. samoae* 등의 발육도 같은 기준을 적용하였다. 이 자료로부터 상온 25°C에서 세대기간 31.5일을 추정하고, 임의의 발육영점온도 10°C를 적용하여 적산온도 472.5DD를 추정하였다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; CABI, 2019bki; PBCRC, 2019bki)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 구아바(*)	
2차 기주식물		
기주기록	감귤류(*): 라임, 만다린, 오렌지, 포멜로 견과류: 밤 인과류: 비파 채소류: 가지, 고추(*), 토마토, 피망(bell pepper)(*) 핵과류: 복숭아 열대작물: <i>Annona</i> 류(*), <i>Syzygium</i> 류(*), 망고(*), 아보카도(*), 열대야몬드, 열대재배 체리( <i>Eugenia brasiliensis</i> , <i>Eugenia uniflora</i> ), 카람볼라(*), 캐슈넛, 파인애플, 파파야(*), 패션프룻(*), 호코테	

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Allwood et al., 1999; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bki; Plant Health Australia, 2018; CABI, 2019bki)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 니우에, 사모아, 아메리칸사모아, 윌리스푸투네, 통가, 프랑스령 폴리네시아 (Austral Islands, Tahiti), 피지 (Rotuma)	존재유무만 언급된 경우

#### (5) 섬과실파리(*Bactrocera xanthodes*)

이 종은 피지, 사모아, 통가 등에 분포하며 파파야, 빵과일(breadfruit)을 가해한다. 사모아에서는 파파야 "sunset" 품종 4~31%와 토착품종 19~37%의 피해를 주며, 빵과일에 대한 피해는 아메리칸 사모아에서 최대 62%, 나우루에서는 12%로 보고되었다(SPC, 2013bx).

섬과실파리의 발육은 26°C에서 알기간은 1.8일이었고 알에서 번데기까지 기간은 10일 이었으며, 산란전기간은 12일 이었다(Clare, 1997). 따라서 알-알기간은 *B. xanthodes*은 35일이 되었다. 따라서 임의의 발영점온도 10°C에서 세대기간 적산온도는 560.0DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용문헌: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2013b; PBCRC, 2019bx)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 금귤, 만다린, 오렌지, 포멜로 견과류: 밤 인과류: 수박 채소류: 토마토, 피망(bell pepper) 열대작물: <i>Annona</i> 류, 구아바, 망고(***), 스타애플, 아보카도, 열대야몬드, 코코아, 파인애플, 파파야(*), 패션프룻	*심한 피해 **실내사육 성공 ***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Leblanc et al., 2012; Allwood et al., 1999; Drew and Romig, 1997; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	오세아니아: 쿡 제도(남부), 프랑스령 폴리네시아(Austral 군), 피지(Rotuma)	
분포기록	오세아니아: 나우루, 니우에, 바누아투, 사모아, 아메리칸사모아, 월리스푸투나, 통가	존재유무만 언급된 경우

#### (6) 필리핀과실파리(*Bactrocera occipitalis*)

필리핀, 보르네오 지역에 분포하고 망고, 구아바, 라임 등을 가해하는 과실파리이며, *B. carambolae*나 *B. endiandrae*와 형태적으로 매우 유사하다(PBCRC, 2019b). 처음 1996년 Palau에서 채집되어 오리엔탈과실파리로 동정되었으나 다른 종으로 구분하며 같은 종군으로 취급하고 있다(SPC, 2013b). 생태자료가 알려져 있지 않으며 세대예찰은 오리엔탈과실파리에 준한다.

○ 기주식물 (인용문헌: White and Elson-Harris, 1992; Allwood et al., 1999; SPC, 2013b; PBCRC, 2019b)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 망고(*)	*심한 피해 **실내사육 성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 라임(*) 열대작물: 구아바(*)	

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; SPC, 2013b; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 말레이시아(Sabah), 브루나이, 인도네시아(Kalimantan), 필리핀, 오세아니아: 팔라우	존재유무만 언급된 경우

**(7) 남방호박꽃과실파리(*Bactrocera diversa*)**

이 종은 동물이명 *Dacus diversus*, *D. citronellae*, *D. quadrifidus*로 기록된 바 있으며 Anacardiaceae, Apocynaceae, Cucurbitaceae, Musaceae, Myristicaceae, Myrtaceae, Rutaceae, Solanaceae, Brassicaceae 등 다양한 식물의 과실, 싹, 꽃 등을 가해한다(Carroll et al., 2004). 남방호박꽃과실파리는 인도, 방글라데시, 쓰리랑카, 네팔, 중국, 파키스탄 등 동남아 지역에 분포하고 박과류의 꽃을 주로 발생하며, ME에 수컷이 약하게 유인된다(Nair et al., 2017).

남방호박꽃과실파리에 대한 생태자료가 알려져 있지 않으며 열대호박꽃과실파리나 타우과실파리와 유전적으로 가까운 위치에 있으므로(Krosch et al., 2012) 타우과실파리에 준하여 예찰모형을 적용한다.

○ 기주식물 (인용문헌: White and Elson-Harris, 1992; Allwood et al., 1999; Margosian et al., 2007)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성 공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 오렌지(***) 박류: Luffa, 박(gourd)(**), 호박 열대작물: <i>Syzygium</i> 류(***), 구아바(***), 망고(***), 바나나	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992, Nair et al., 2017)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	아시아: 인도(북부)	
분포기록	아시아: 네팔, 방글라데시, 베트남(북부), 부탄, 스리랑카, 중국, 태국, 파키스탄	존재유무만 언급된 경우

**(8) 할포디아과실파리(*Bactrocera halfordiae*)**

호주북부 뉴 사우스 웨일즈에 분포하며, 감귤과 비파 등을 가해하는 것으로 May(1963)가 보고하였으나 퀸즐랜드과실파리의 오동정일 가능성이 있다고 평가하였다(DPIPWE, 2011: Tasmania). 하지만 호주 자체에서 감귤류가 중요한 기주로 기록하고 있다(Hancock, et al., 2000). 기존 수컷유인제가 알려져 있지 않았으나 isoeugenol(IE)이 dihydroeugenol(DE)에 비하여 25배 유인력이 좋았고, 다른 유인제에는 반응하지 않았다(Royer, 2015).

이 종에 대한 상세한 생태자료는 알려져 있지 않은 상태이다. 동일한 환경에서 공존하는 퀸즐랜드과실파리 예찰모형에 준하여 적용한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류(***) : 금귤, 만다린, 오렌지, 자몽 인과류: 비파(***) 장과류: 무화과(***) 열대작물: 열대재배 체리( <i>Eugenia uniflora</i> )(***)	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 호주(동부)	존재유무만 언급된 경우

#### (9) 바나나과실파리(*Bactrocera musae*)

이 종은 호주원산으로 파푸아뉴기니, 솔로몬 군도 등에 분포하며 바나나의 중요한 해충이고, 파파야, 구아바, 자두에서도 간헐적으로 관찰되는 종이다(CABI, 2019bm). 기타 고추, 구아바, 토마토에도 발생기록이 있다(Smith, 1977).

성충은 다자란 녹색의 바나나에 알을 낳으며 알기간은 3~11일로 바나나가 11일내에 연화되지 않으면 부화하지 못한다. 유충기간은 7~11일, 번데기 기간은 7~10일이다(Smith, 1977). 온도 발육자료가 부족하므로 평균 알기간 7.0일, 유충기간 9.0일, 번데기 기간 8.5일, 산란전기간 임의로 12.0일을 적용하여 알-알기간 36.5일을 추정하였다. 야외 평균온도를 26°C와 발육영점온도를 10°C로 적용하였을 때 세대완료에 필요한 적산온도는 584.0DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용문헌: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bm; CABI, 2019bm; PBCRC, 2019bm)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 바나나(*)	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물	열대작물: 구아바, 파파야	
기주기록	열대작물: 열대재배 자두( <i>Ximenia americana</i> )	

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bm; Plant Health Australia, 2018; CABI, 2019bm)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 파푸아뉴기니(mainland, New Britain(동부), 호주(동북부, Queensland, Torres Strait Islands)	존재유무만 언급된 경우

**(10) 메틸유제놀 그룹 과실파리의 발생예찰**

과실파리 긴급조치 상황에서 세대기간 예찰모형을 이용하여 모니터링의 지속여부를 결정한다. 평균대기온도에서 발육영점온도(LT) 이상의 온도를 누적하여 해당 적산온도(DD)에 도달되었을 때 1세대가 완료된다.

표. ME-유인제 그룹 과실파리 발생예찰용 온도발육 매개변수

기존 등급	신규 등급	한국명	생활사	월동태	예찰모형	LT	DD	비고
금지	I	자비스과실파리	연중발생	-	세대기간	11.1	446.6	QFF
금지	II	크라우스과실파리	연중발생	-	세대기간	11.1	446.6	QFF
	II	뉴칼레도니아과실파리	연중발생	-	세대기간	11.1	446.6	QFF
	II	키르크과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	472.5	
	II	섬과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	560.0	
	II	필리핀굴과실파리	연중발생	-	세대기간	9.5	717.0	OFF
	II	남방호박꽃과실파리	연중발생	-	세대기간	6.0	525.4	
금지	III	할포디아과실파리	연중발생	-	세대기간	11.1	446.6	QFF
	III	바나나과실파리	연중발생	-	세대기간	10	584.00	

너. 큐루어(Cuelure: CL) 유인 과실파리 생태 및 발생예찰

(1) 망고과실파리(*Bactrocera frauenfeldi*)

파푸아뉴기니, 솔로몬 군도 등에 폭 넓게 분포하는 종으로 1974년 퀴즐랜드 북부에 침입하여 분포가 확대되었다(SPC, 2013bfr). 다식성 종으로 구아바, 아몬드, 체리, 사과, 탄저린, 망고, 오렌지, 밤, 바나나 등 경제적으로 중요한 과실을 가해한다.

검역처리 기준을 마련하고자 파파야를 이용하여 *Bactrocera frauenfeldi*의 사육기술을 개발하였으며, 25.9°C에서 유충 발육기간 10.5일, 번데기 기간 11일이라고 보고하였다(Leblanc and Hollingsworth, 1997; SPC, 2013bfr). 알기간 2일, 산란전기간 7일을 임의로 적용하였을 때 알-알 세대기간은 30.5일로 발육영점온도 10°C로 할 때 세대기간에 필요한 적산온도는 485.0DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Drew and Romig, 1997; Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2004; Margosian et al., 2007; CABI, 2017bfr; PBCRC, 2019bfr)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 구아바(*)	
2차 기주식물		
기주기록	감귤류(*): 금귤, 라임, 레몬, 만다린, 오렌지, 자몽, 탄저린, 포멜로 견과류: 밤, 아몬드 박류: 박 준인과류: 감 장과류: 무화과, 오디 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류(*), 대추야자, 망고(*), 바나나, 빵나무, 사포테, 스타애플, 아보카도, 열대아몬드, 열대재배 자두( <i>Ximenia armeniaca</i> ), 열대재배 체리 ( <i>Eugenia reinwardtiana</i> , <i>Eugenia uniflora</i> ), 카람볼라(*), 캐슈넛, 파파야(*), 패션프룻, 호코테	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요



○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Allwood et al., 1999; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bfr; CABI, 2017bfr; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	오세아니아: 파푸아뉴기니(Bougainville, Lihir Island, New Britain, New Isreland)	
제한적 분포	오세아니아: 호주(Queensland(north), Torres Strait Islands)	
분포기록	아시아: 인도네시아(West Papua, Moluccas) 오세아니아: 나우루, 마셜 제도, 미크로네시아 연방, 북마리아나 제도, 솔로몬 제도, 키리바시, 팔라우	존재유무만 언급된 경우

## (2) 통가과실파리(*Bactrocera facialis*)

통가에 제한적으로 서식하나 확산시 피해 잠재력이 높은 종으로 평가되고 있다(SPC, 2013bf). 통가에서 피해정도는 칠리고추 89~97%, 고추 97~100%, 구아바 90%로 큰 피해를 주고 있으며, 다식성으로 야생기주식물에서도 잘 번식한다(SPC, 2013bf).

CABI (2017bf)에 따르면 온도에 따라 *Bactrocera facialis* 유충 발육기간은 10~35일, 번데기 10~30일, 산란전기간 7~14일로 제시하고 있다. 기타 *B. frauenfeldi* (CABI, 2017bfr), *B. psidii* (CABI, 2017bp) 등도 동일한 생활사 매개변수를 기술하고 있다. 온도 발육기간은 25°C 알 1일 전후, 유충 22.5일, 번데기 20일, 산란전기간 10.5일; 32°C에서는 각각 1, 10, 10, 7일로 보고되었다(Christenson and Foote, 1960; Leweniqila, et al., 1997). 따라서 알-알 세대기간은 25°C에서 54일, 32°C에서 33일로 임의의 발육영점온도 10°C을 적용하였을 때 각각 810DD과 726DD로 추정되었다. 결과적으로 평균값이 768DD를 세대기간 예찰에 활용할 수 있다.

○ 기주식물 (인용: Baker et al., 1944; White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2013b; CABI, 2017bf; PBCRC, 2019bf)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 구아바(*) 채소류: 피망(*)	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류(*): 레몬, 만다린, 오렌지, 자몽, 포멜로 견과류: 밤 박류: 수박 채소류: 가지, 고추(*), 토마토 핵과류: 복숭아, 자두 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류(*), 망고(*), 바나나, 빵나무, 사포테, 아보카도(*), 열대아몬드(*), 열대재배 체리 ( <i>Eugenia uniflora</i> ), 캐슈넛, 파인애플(***) , 파파야(*), 패션프룻	

\* USDA의 watermelon (수박), sweet almond 기록은 원출처에서는 찾을 수 없고 각각 열대아몬드와 waterlemon (패션프룻) 에서 유래한 기록으로 보임

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Allwood et al., 1999; Leblanc et al., 2012; CABI, 2017bf; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 통가	존재유무만 언급된 경우

### (3) 쿡제도과실파리(*Bactrocera melanotus*)

이 종은 쿡제도 고유종으로써 주로 파파야에 12%의 피해(*B. xanthodes* 혼재)를 주며, 검역적으로 구아바, 망고, 사과 등에 중요한 해충으로 취급되고 있다(SPC, 2013bme).

*B. melanotus* 발육은 26°C에서 알기간은 1.7일이었고 알에서 번데기까지 기간은 10일 이었으며, 산란전기간은 21일 이었다(Clare, 1997). 따라서 알-알기간은 44일이 되었다. 따라서 임의의 발영점온도 10°C에서 세대기간 적산온도는 704.0DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; PBCRC, 2019bme)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 라임, 레몬, 만다린, 시트론, 오렌지(***), 자몽, 탄 제린, 포멜로 견과류: 밤 인과류: 비파 장과류: 딸기 채소류: 가지, 토마토 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 구아바, 망고, 사포테, 아보카도, 열대아몬드, 열대재배 체리( <i>Eugenia uniflora</i> ), 카 람볼라, 커피, 파파야	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Drew and Romig, 1997; Allwood et al., 1999; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bme)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 쿡 제도	존재유무만 언급된 경우

#### (4) 피지과실파리(*Bactrocera passiflorae*)

이 과실파리는 피지, 니우에, 윌리스, 푸 투나에 분포하며, 다식성으로 피지제도의 피해 수준은 금귤에 60%, 구아바 40~90%, 카비카(*Syzygium malaccense*)에 62%, 망고에 20~25%로 알려져 있다(SPC, 2013bpa).

피지에서 papaya 생과실로 사육한 결과 알기간 1.5일, 부화 4일 후 80% 유충이 2령에 도달하였고, 6일 후에는 96% 가 3령에 도달하였다(SPC, 2013bpa). 또한 부화 8일 후에는 번데기가 되기 위하여 탈출을 시작하였고, 20일 후부터 성충이 우화하기 시작하였다(상온 26°C 적용). 산란전기간 10.5일을 적용하여 알-알기간 32일을 추정하였으며, 임의의 발육영점온도 10°C에서 세대완료에 필요한 적산온도는 512.0DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2013b; CABI, 2019bpa; PBCRC, 2019bpa)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	감귤류: 라임(*), 만다린(*) 열대작물: 구아바(*), 망고(*), 빵나무, 아보카도, 캐슈넛(*), 코코아(*), 파파야, 패션프룻(*) 채소류: 가지(***)	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물	감귤류: 금귤, 레몬, 오렌지, 자몽, 포멜로 견과류: 밤 장과류: 석류 채소류: 고추 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 사포테, 스타애플, 열대 아몬드, 열대재배 자두( <i>Chrysobalanus icaco</i> ), 카람볼라, 커피(***)	
기주기록		

\* 가지의 경우 *B. passiflorae*의 pale 종의 기록에서 유래 (Leblanc et al., 2012)

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Allwood et al., 1999; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bpa; Plant Health Australia, 2018; CABI, 2019bpa)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	오세아니아: 피지	
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 니우에, 윌리스푸투나, 통가(Niuas), 투발루	존재유무만 언급된 경우

### (5) 뉴기니과실파리(*Bactrocera trivialis*)

이 과실파리는 파푸아뉴기니 본토와 인도네시아 일부지역(Irian Jaya, Sulawesi), 호주 1개 섬(Torres Strait Islands)에 제한적으로 분포하는 종으로 파푸아뉴기니에서는 구아바 13~45%, 오렌지 9%의 피해가 나타나며, 망고, 복숭아, 그레이프프루트, 타바스코고추(Tabasco chilli) 등도 기주식물로 알려져 있다(SPC, 2013btr). 유인제로 Cue-lure를 사용할 수 있다(PBCRC, 2019btr)

칼람볼라과실파리나 파파야과실파리와 형태와 생태적으로 밀접히 관련된 종으로 생태자료가 알려져 있지 않은 종이다(Walker, 2005). 따라서 칼람볼라과실파리 예찰모형을 적용하여 예찰할 수 있다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2013b; SPC, 2013btr)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 오렌지, 자몽(*) 채소류: 고추(*) 핵과류: 복숭아(*) 열대작물: <i>Syzygium</i> 류, 구아바(*), 망고(*), 열대아몬드, 카람볼라	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Leblanc et al., 2012; Drew and Romig, 1997; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 인도네시아(Irian Jaya, Sulawesi, West Papua), 파푸아뉴기니(mainland, New Britain(동부)), 호주(Torres Strait Islands)	존재유무만 언급된 경우

#### (6) 호주고추과실파리(*Bactrocera bryoniae*)

파푸아뉴기니와 호주 퀸즐랜드 남동부에 제한적으로 분포하고 비해충으로 취급하고(Raghu and Clarke, 2001; SPC, 2013bb) 있으나, 파푸아뉴기니에서는 고추(Birdseye and Tabasco chilli)에서 종종 경제적 피해를 유발하고 있다(SPC, 2013). 또한 바나나에서 발견되기는 했으나 생활사를 완성하지는 못하였다(Drew, 1989). 이 종은 봄철(10월) 발생량이 가장 높고, 여름철(1월/2월) 감소하는 양상을 보이며(Drew et al., 1984; Raghu and Clarke, 2001), Raghu et al.(2000)은 작은퀸즐랜드과실파리와 비슷한 발생양상을 보인다고 하였다. 이 종의 생태자료는 거의 알려져 있지 않는 상태로 발생주기가 비슷한 작은퀸즐랜드과실파리에 준하여 예찰한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2013b; SPC, 2013bb; PBCRC, 2019bb)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		*심한 피해
기주기록	박류: 기타 박류( <i>Cucumis melo</i> ) 채소류: 고추(*) 열대작물: 바나나, 패션프룻	**실내사육성공 ***검정요

\* USDA의 watermelon 기록은 원출처의 waterlemon 기록에서 유래한 것으로 보임

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bb; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 인도네시아(Papua) 오세아니아: 파푸아뉴기니(mainland, Bismarck Archipelago), 호주(Northern Territory, Western Australia (북부), Eastern Australia)	존재유무만 언급된 경우

### (7) 동남아호박꽃과실파리(*Bactrocera scutellaris*)

이 종은 주로 박류의 꽃을 가해하며, 꽃대, 어린 줄기 종종 어린 과실에도 산란하는 등 박과류에 피해가 우려되는 종이다(Fprabhakar et al., 2007). 분포범위가 넓어 중국 남서부까지 서식하며, 인도 히마찰프라데시(Himachal Pradesh) 우점종으로 향후 피해가 우려되는 과실파리이다(Singh et al., 2013).

동남아호박꽃과실파리 발육기간은 실험실 상온조건(26°C 적용)에서 알 0.87일, 유충 6.5일, 번데기 8.5일 이었고, 성충수명은 수컷 24.0일, 암컷 25.5일이었다(Fprabhakar et al., 2007). 성충의 수명이 짧은 것을 감안하여 산란전기간을 5일 전후로 가정할 때 알-알세대기간은 20.9일로 임의의 발육영점온도 10°C에서 333.9DD가 소요된다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Allwood et al., 1999)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: 박(gourd), 호박	***검정요

○ 분포지역 (인용: Kapoor, 2005)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 네팔, 미얀마, 방글라데시, 인도, 태국, 파키스탄	존재유무만 언급된 경우

(8) 솔로몬호박과실파리(*Dacus solomonensis*)

이 종은 말벌 형태와 유사한 대형종으로 파푸아뉴기니 부깅빌섬과 솔로몬 군도에 분포하는 과실파리이며, 이 지역에서 오이과실파리와 종합하여 뱀오이 90%, 호박에 60~87%의 피해를 유발한다(SPC, 2013ds). 뱀오이를 이용하여 사육한 결과 25°C에서 알기간 1.9일, 유충기간 12일, 번데기 기간 9일 이었고, 교미는 우화 16일후 시작하였다(SPC, 2013ds). 따라서 알-알 세대기간은 38.9일로 추정된다.

세대완료를 위한 적산온도는 임의의 발육영점온도 10°C를 적용하였을 때 583.5DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: Leblanc et al., 2013b; SPC, 2013ds)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: <i>Luffa</i> , 박(gourd), 애호박(squash), 오이, 호박	***검정요

○ 분포지역 (인용: Allwood et al., 1999; SPC, 2013ds; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 솔로몬제도, 파푸아뉴기니(Bougainville)	존재유무만 언급된 경우

**(9) 호주호박꽃과실파리(*Bactrocera strigifinis*)**

이 종은 호주 동부, 파푸아뉴기니, 솔로몬 군도 지역에 분포하며 박과류의 꽃에서 발육하는 것으로 보고되었고(Leblanc et al., 2001; SPC, 2013bs), 과실을 가해하나 피해는 적은 것으로 알려져 있다(Leblanc et al., 2001). 생태자료가 알려져 있지 않는 종으로 가해부위 등 생태적으로 유사한 동남아호박과실파리에 준하여 예찰할 수 있다.

○ 기주식물 (인용: Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bs)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: 호박	***검정요

○ 분포지역 (인용: Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bs)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 인도네시아 (West Papua) 오세아니아: 파푸아뉴기니(mainland), 호주(Queensland)	존재유무만 언급된 경우

**(10) 뉴기니호박꽃과실파리(*Bactrocera triangularis*)**

파푸아뉴기니(비스마르크 군도, 부깅빌섬) 등지에 분포하며 박과류의 꽃을 가해하는 것으로 보고되었다(Leblanc et al., 2013b). 이 종에 대한 생태자료는 거의 알려져 있지 않다. 세대에찰은 생태적으로 유사한 동남아호박꽃과실파리에 준한다.

○ 기주식물 (인용: Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2013b)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: 호박	***검정요



○ 분포지역 (인용: Leblanc et al., 2012; Leblanc et al., 2013b)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 파푸아뉴기니(Bougainville, Bismarck Archipelago)	존재유무만 언급된 경우

(11) 열대호박꽃과실파리(*Bactrocera caudata*)

열대호박꽃과실파리는 인도에서 중국, 그리고 남부에서 인도네시아까지 폭 넓게 분포하는 종으로 박과류의 수꽃(과실도 가능)에서 번식하는 종으로 알려져 있다(Allwood et al., 1999). 인도에서 발생량은 다른 종과 비교하여 높지 않으나 해안지역에서 많이 유살된다(Satarkar et al., N.D.). 지역 개체군과 유전적 다양성이 존재하여 말레이시아 반도 개체군과 말리와 롬복 개체군은 뚜렷하게 다른 유전자 서열을 보인다(Lim et al., 2012).

본 종에 대한 생태자료를 전무하며 타우과실파리, 오이과실파리 등과 연관되어 발생하는 것으로(Satarkar et al., N.D.) 타우과실파리에 준하여 예찰한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Allwood et al., 1999; Margosian et al., 2007)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 오렌지(***), 포멜로(***) 박류: <i>Luffa</i> (***), 박(***), 오이(***), 호박 채소류: 고추(***), 토마토(***) 핵과류: 복숭아(***) 열대작물: <i>Syzygium</i> 류(***), 구아바(***), 사포테(***)	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 대만, 말레이싱, 미얀마, 베트남, 브루나이, 인도, 인도네시아(Java, Sumatra), 태국	존재유무만 언급된 경우

**(12) 수세미과실파리(*Bactrocera hochii*)**

수세미를 비롯한 박과류 식물을 가해하는 것으로 알려져 있으며(Allwood et al., 1999), 중국, 베트남, 태국, 말레이시아, 인도네시아 등에 분포하고(Leblanc et al., 2013a) 인도에서도 발견되었다(Nar et al., 2018).

이 종에 대한 생태정보가 없는 상태로 유전적으로 가장 근연종에 속한 오리과실파리(Leblanc et al., 2015)의 세대예찰 모형을 이용하여 예찰 할 수 있다.

○ 기주식물 (인용: Allwood et al., 1999)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: <i>Luffa</i>	***검정요

○ 분포지역 (인용: Nair et al., 2017)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 방글라데시, 중국, 인도, 인도네시아, 말레이시아 (Malaysia 반도), 태국, 베트남	존재유무만 언급된 경우

**(13) 큐루어 그룹 과실파리의 발생예찰**

CL-유인제 그룹은 모두 연중발생하는 종으로 세대예찰모형을 적용한다. 즉 과실파리 긴급조치 상황에서 세대기간 예찰모형을 이용하여 모니터링의 지속여부를 결정한다. 평균대기온도에서 발육영점온도(LT) 이상의 온도를 누적하여 해당 적산온도(DD)에 도달되었을 때 1세대가 완료된다.

표. CL-유인제 그룹 과실파리 발생예찰용 온도발육 매개변수

기존 등급	신규 등급	한국명	생활사	월동태	예찰모형	LT	DD	비고
금지	I	망고과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	485.0	
	II	통가과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	768.0	
	II	쿡제도과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	704.0	
	II	피지와실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	512.0	
금지	II	뉴기니과실파리	연중발생	-	세대기간	11.8	384.6	1
	III	호주고추과실파리	연중발생	-	세대기간	9.2	467.8	
	III	동남아호박꽃과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	333.9	
	III	솔로몬호박과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	583.5	
	III	호주호박꽃과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	333.9	2
	III	뉴기니호박꽃과실파리	연중발생	-	세대기간	10.0	333.9	3
	IV	열대호박꽃과실파리	연중발생	-	세대기간	6.0	525.4	4
	IV	수세미과실파리	연중발생	-	세대기간	9.8	562.5	5

1 칼람볼라과실파리 적용, 2 동남아호박꽃과실파리 적용, 3 동남아호박꽃과실파리 적용, 4 타우과실파리 적용, 5 오이과실파리 적용

**더. 암모니아 유인 과실파리 생태 및 발생예찰**

유인제 AA(ammonium acetate; putrescine 포함), AC(ammonium carbonate), AB(ammonium bicarbonate), AH(ammonium hydroxide), AS(Ammonium salts) 등에 유인되는 과실파리류로 대부분의 *Anastrepha* 속, *Rahgoletis* 속, *Zonosemata* 속의 과실파리가 포함되어 있다.

*Anastrepha* 속은 열대나 아열대 기후에 적응하여 연중 발생하는 과실파리이고, *Rahgoletis* 속과 *Zonosemata* 속은 대부분 온대기후에서도 발생이 가능하고 연 1회 발생하는 종으로 휴면상태의 번데기로 월동한다.

**(1) 카브리해과실파리(*Anastrepha suspensa*)**

카브리해과실파리는 중남미에서는 다양한 작물을 가해하는 심각한 해충이며 분포범위가 미국 플로리다 남부까지 이르며, 구아바 뿐만 아니라 비파, 금귤, 감귤류(그레이프푸르트)를 가해할 수 있다(Whervin, 1974; Enkerlin et al., 1989).

이 종에 대한 온도발육 등 생태자료는 보고된 것이 없으며, 서인도제도과실파리와 매우 유사한 종이므로(Weems et al. 2001a,b) 동일한 기준을 적용할 수 있다(616.4일도/11.6°C).

○ 기주식물 (인용: Enkerlin et al., 1989; Harris, 1989; White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001asu; CABI, 2019asu; PBCRC, 2019asu)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	인과류: 비파(*) 열대작물(*): <i>Syzygium</i> 류(*), 구아바, 열대아몬드, 열대재배 체리(* <i>Eugenia</i> spp.)	
2차 기주식물	감귤류: 금귤(*), 라임, 만다린, 오렌지(*), 자몽(*), 탄제린, 포멜로	
기주기록	박류: 박(gourd) 인과류: 배, 사과 장과류: 구스베리, 무화과, 석류, 감, 토마토, 피망(bell pepper), 자두 핵과류: 복숭아(*), 자두 열대작물: <i>Annona</i> 류(*), 대추야자(date palm), 리치, 망고, 사포테(*), 스타애플, 아보카도, 열대재배 자두( <i>Carissa grandiflora</i> , <i>C. macrocarpa</i> , <i>Chrysobalanus icaco</i> , <i>Flacourtia indica</i> ), 카람볼라, 파파야, 호코테	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요

○ 분포지역 (인용: CABI, 2019asu)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	중앙아메리카 및 카리브 일대: 도미니카공화국, 아이티, 자메이카, 쿠바, 푸에르토리코	
제한적 분포	북아메리카: 미국(Florida)	
분포기록	중앙아메리카 및 카리브 일대: 바하마스, 영국령 버진아일랜드 남아메리카: 프랑스령 가이아나	존재유무만 언급된 경우

## (2) 남미과실파리(*Anastrepha fraterculus*)

남미과실파리는 남아메리카 원산으로 열대 및 아열대 지역에서 연중발생하며 브라질에서는 감귤에 20%까지 피해를 주는 것으로 알려져 있다(Silva et al., 2014). 레몬에는 산란하지 않으며 탄저린 감귤을 선호하고 익은 오렌지에서 발육한 암컷은 378.7개의 알을 낳는다(Dias, et al., 2017). 남미과실파리는 25°C 조건에서 알-성충기간 30.9일, 산란전기간 15.2일로 알려졌다(Dias et al., 2017). 알-알기간 46.1일을 적용하여 세대기간에 필요한 적산온도를 추정하였다. 세대기간 완료에 필요한 적산온도는 발육영점온도 10°C를 임의로 적용하여  $(25-10) \times 64.1 = 691.5$ 일도로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: Enkerlin et al., 1989; White and Elson-Harris, 1992; Graciela, 1996; CABI and EPPO, 2006af; CABI, 2019af; PBCRC, 2019af)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 구아바(*), 열대재배 체리(* <i>Eugenia uniflora</i> , <i>Eugenia brasiliensis</i> ) 인과류: 비파 핵과류: 복숭아(*)	
2차 기주식물	감귤류: 라임, 시트론(***), 오렌지, 자몽(*), 탄저린, 포멜로 핵과류: 살구(*), 자두(***)	
기주기록	감귤류: 금귤 견과류: 호두 인과류: 마르멜로, 배, 사과 준인과류: 감 장과류: 구스베리, 딸기, 라즈베리, 무화과, 블랙베리, 석류, 포도, 키위 핵과류: 올리브 열대작물: <i>Annona</i> 류(*), <i>Syzygium</i> 류(*), 망고, 사포테, 아보카도, 열대아몬드(*), 카람볼라, 캐슈넛, 커피, 코코아, 파파야, 패션프룻, 호코테	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요

\* 복숭아의 경우 CABI and EPPO (2006af)에서는 간헐적으로 가해하는 것으로 기록

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI, 2019af)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	중앙아메리카 및 카리브 일대: 과테말라, 니카라과, 벨리즈, 엘살바도르, 온두라스, 코스타리카, 트리니다드토바고, 파나마 남아메리카: 베네수엘라, 브라질(Amazonia에는 없음), 에콰도르, 우루과이, 콜롬비아, 파라과이, 페루	
제한적 분포	북아메리카: 멕시코(북부 저지대) 남아메리카: 아르헨티나	
분포기록	남아메리카: 가이아나, 볼리비아, 수리남	존재유무만 언급된 경우

### (3) 멕시코과실파리(*Anastrepha ludens*)

멕시코과실파리는 열대지역에서 비휴면으로 연중발생하는 것으로 알려져 있으나, 원산지인 멕시코 북부에서는 주로 번데기로 월동하고 년 2세대 (간혹 3세대) 발생한다(Liedo et al, 1993). Leyva-Vazquez(1988)는 멕시코과실파리의 발육영점온도 9.4°C이고 적산온도는 번데기 발육에 번데기 316일도, 알과 유충 발육완료에 291일도로 보고하였다.

멕시코과실파리는 산란전기간이 긴 것으로 보고 되었는데, 정확한 자료가 없었으므로 동일 속에 속한 남미호박과실파리(*Anastrepha grandis*)의 25°C에서 산란전기간 29.6일(Bolzan et al., 2017)을 임의로 적용하여 알-알 세대기간에 필요한 적산온도를 추정하였다. 즉 산란전기간에 완료에 필요한 적산온도는  $(25-9.4) \times 29.6 = 461.8$ 일도로 추정되었다. 따라서 알-알 세대기간은 1,068.8일도가 되었다.

○ 기주식물 (인용: Baker et al., 1944; White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001a; USDA/APHIS, 2016; CABI, 2019a)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	감귤류(*): 오렌지, 자몽, 포멜로 열대작물: 망고(*), 사포테(*)	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물	인과류: 배(*) 핵과류: 복숭아(*) 열대작물: 구아바, 아보카도	
기주기록	감귤류(*): 라임, 레몬, 만다린, 시트론, 탄제린 박류: 애호박(**) 인과류: 마르멜로, 사과(*) 장과류: 무화과(**), 석류 준인과류: 감 채소류: 고추(**), 토마토(**), 피망(**) 핵과류: 자두(***) 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 바나나(**), 열대아몬드, 캐슈넛, 커피, 파파야, 패션프룻, 호코테	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI, 2019a)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	북아메리카: 멕시코	
제한적 분포	북아메리카: 미국(Texas, 박멸중) 중앙아메리카: 코스타리카, 파나마	
분포기록	중앙아메리카 및 카리브 일대: 과테말라, 니카라과, 벨리즈, 엘살바도르, 온두라스	존재유무만 언급된 경우

#### (4) 러시아참외과실파리(*Carpomyia pardalina*)

이 종은 메론, 수박, 오이 등을 가해하는 해충으로 유럽 아르메니아, 남부 러시아, 터키를 비롯하여 아시아 이란, 인도 등 폭 넓게 분포하는 종이다(EPPO, 2019cp). 번데기 상태로 토양에서 월동하고 연 2~3세대 발생하는데 이란 남부와 서부에서는 4세대까지 발생한다(Stonehouse et al., 2006; EPPO, 2019cp). 월동대는 겨울철 0°C 이하에서 생존가능하는 것으로 알려져 있다(EPPO, 2019cp).

러시아참외과실파리의 발육기간은 알기간 2~3일 또는 3~4일, 유충기간 8~18일, 번데기 기간 13~20일, 산란전기간 7일 정도로 알려져 있다(Stonehouse et al., 2006; EPPO, 2019cp). 평균 발육기간은 알 3.0일, 유충 13.0일, 번데기 16.5일로 알-알기간은 39.5일이 되며, 상온평균온도 25°C와 임의의 발육영점온도 10°C할 때 세대기간 적산온도는 592.5DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: 수박, 오이, 기타 박류( <i>Cucumis melo</i> )	***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; EPPO Reporting Service, 2013)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 레바논, 시리아, 아르메니아, 아제르바이잔, 아프가니스탄, 우즈베키스탄, 이라크, 이란, 이스라엘, 인도(북부), 조지아, 카자흐스탄, 키르기스스탄, 타지키스탄, 터키, 투르크메니스탄, 파키스탄 유럽: 러시아(남부), 사이프러스, 우크라이나	존재유무만 언급된 경우

#### (5) 사포테과실파리(*Anastrepha serpentina*)

사포테과실파리는 열대 및 아열대지역에서 년중 발생하는 과실파리로 망고를 비롯한 감귤류, 사과, 복숭아 등을 가해하는 해충이다(CABI, 2018asw). 알은 3일 내외로 부화하고 유충기간은 8~13일, 번데기는 13~17일후 우화한다(CABI, 2018ase). 성충은 80~100개의 알을 낳으며(Celedonio-Hurtado et al., 1995), 산란전기간은 14일(24°C) 정도이다(Imelda et al., 1995). Spishakoff(1966) 27.8°C에서 알기간 3일, 번데기기간 15일, 26.7°C에서 유충기간 11일을 보고하였다. 온도발육자료가 부족하였기 때문에 27.8°C 자료를 기준하여 기존자료를 수정하여 적산온도 추정에 활용하였다. 즉 알기간 3일, 유충기간 10일, 번데기기간 15일, 산란전기간 12일을 바탕으로 발육영점온도는 10°C를 임의로 적용하여 알-알 세대기간 완료에 필요한 적산온도 712 일도를 추정하였다.



○ 기주식물 (인용: Enkerlin et al., 1989; White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001ase; CABI, 2018ase; PBCRC, 2019ase)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	감귤류(*): 라임, 오렌지, 자몽, 탄제린, 포멜로 열대작물: 사포테(*), 스타애플(*)	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	인과류: 마르멜로, 배, 사과 준인과류: 감 장과류: 구스베리 채소류: 토마토(**) 핵과류: 복숭아 열대작물: <i>Annona</i> 류, 구아바, 망고, 아보카도, 호코테	

○ 분포지역 (인용: CABI, 2018ase)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	중앙아메리카 및 카리브 일대: 과테말라, 온두라스, 코스타리카, 트리니다드토바고, 파나마(고지대, 서부) 남아메리카: 가이아나, 베네수엘레, 브라질, 수리남, 에콰도르, 콜롬비아, 페루	
제한적 분포	북아메리카: 멕시코, 미국(Texas, 박멸중) 중앙아메리카 및 카리브 일대: 네덜란드령 안틸제도	
분포기록	중앙아메리카 및 카리브 일대: 벨리즈 남아메리카: 프랑스령 가이아나	존재유무만 언급된 경우

#### (6) 체리과실파리(*Rhagoletis cingulata*)

북미 서부에 분포하는 *R. indifferens*와 유연종으로 과거 오동정되기도 하였으며, 이 종은 북미 동부에 분포한다. 즉 *R. cingulata*와 *R. indifferens*는 각각 북미의 동부와 서부에 발생하는 이소종으로 취급된다. 하지만 *R. cingulata*이 아리조나까지 발견되고, *R. indifferens*가 뉴멕시코 동부에 발견되는 등 분포지역이 약간 중복되는 지역이 있다(Foote et al., 1993).

1966년 이전에는 동부종인 *R. cingulata* 만이 언급되었으며 두 종을 구분하여 취급하지 않았다. 따라서 생물적 특성은 두 종이 동일한 것으로 취급되며, 예찰은 서부양벚과실파리와 동일한 기준을 적용한다.

○ 기주식물 (인용: Harris, 1989; White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001rci; CABI and EPPO, 2006ri; CABI, 2019rci)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	핵과류: 앵두	*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	핵과류: 올리브(**), 자두(**)	***검정요

○ 분포지역 (인용: CABI and EPPO, 2006ri; CABI, 2019rci)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	북아메리카: 멕시코, 미국(Arizona, Arkansas, Connecticut, District of Columbia, Florida, Georgia, Illinois, Indiana, Iowa, Louisiana, Louisiana, Maryland, Massachusetts, Michigan, Mississippi, New Jersey, New Mexico, New York, Ohio, Pennsylvania, Tennessee, Texas, Virginia, Wisconsin), 캐나다(Ontario, Quebec, Saskatchewan) 유럽: 네덜란드, 독일, 스위스, 프랑스*	*박멸중
분포기록	유럽: 벨기에, 슬로베니아, 오스트리아, 체코 공화국, 크로아티아, 헝가리	존재유무만 언급된 경우

### (7) 유럽양벚과실파리(*Rhagoletis cerasi*)

유럽지역 체리에 심각한 피해를 주는 해충으로 연 1세대 발생하며 번데기로 월동한다(Daniel and Grunder, 2012). 성충은 15°C 이상 조건에서 활동을 시작하며 포장상태에서 4~7주 동안 30~200개의 알을 낳는다(Daniel and Grunder, 2012). 또한 산란전기간은 6~13일이며 알은 2~10일에 부화한다. 월동번데기는 당해연도 대부분 우화하지만 수년 후 우화하는 경우도 있어 검역 관리에 주의가 필요하다.

월동고치의 성충으로 우화시기(50%)는 발육영점온도 5°C에서 430DD이다(Daniel, 2014). 따라서 발견년도 다음해 모니터링을 위한 트랩설치는 380DD 이전에 실시한다. 발견당해년도에는 마지막 발견후 약 7주간 재발견되지 않으면 조사를 중단할 수 있다(성충의 수명 최대 7주 반영). 단 유충에 대한 감염과실 조사는 계속한다.

○ 기주식물 (인용: Fischer-Colbrie and Busch-Petersen, 1989; White and Elson-Harris, 1992; Allwood et al., 1999; USDA/APHIS, 2018rc)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	핵과류: 앵두	*심한 피해
2차 기주식물	약초류: 인동	**실내사육성공
기주기록	장과류: 매자, 블루베리(***)	***검정요

○ 분포지역 (인용: Fischer-Colbrie and Busch-Petersen, 1989; USDA/APHIS, 2018rc)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	북아메리카: 캐나다(Ontario) 유럽: 덴마크(Zealand, Funen), 체코 공화국(Moravia)	
분포기록	아시아: 아르메니아, 우즈베키스탄, 이란(Azərbaycan, Esfahan, Hamadan, Khorassan, Teheran), 조지아, 카자흐스탄, 키르기스스탄, 타지키스탄, 터키(Aegean, Marmara), 투르크메니스탄 오세아니아: 그리스(Crete 섬), 네덜란드, 노르웨이, 독일, 라트비아, 러시아, 루마니아, 리투아니아, 몰도바, 벨기에, 벨라루스, 보스니아 헤르체고비나, 북마케도니아, 불가리아, 세르비아, 스웨덴(위도 61 이남), 스위스, 스페인, 슬로바키아, 슬로베니아, 에스토니아, 오스트리아, 우크라이나, 유고슬라비아, 이탈리아(Sicily, Sardinia 포함), 크로아티아, 포르투갈, 폴란드, 프랑스, 헝가리	존재유무만 언급된 경우

### (8) 남방호두과실파리(*Rhagoletis completa*)

남방호두과실파리는 호두과실파리의 아종으로 취급되다가 1930년대 독립종으로 분리되었다(Foote et al., 1993). 북미가 원산인 이 과실파리는 연 1세대 발생하며 번데기로 월동하고 중앙 유럽에서는 7월부터 9월까지 호두에서 발생한다(OEPP/EPPO, 2011).

남방호두과실파리는 28°C에서 발육변수가 가장 좋으며, 산란전기간 10일, 알기간 2.3일, 유충기간 20일 이었고, 번데기기간은 24°C에서 53일, 8°C에서 162일로 나타났다(Kasana and AliNiazee, 1994). 발육영점온도는 산란전기간 6.6°C, 알 5.3°C, 유충 2.9°C, 번데기 5°C로 알려져 있다(Kasana and AliNiazee, 1994). 월동 번데기 발육은 일정한 저온처리기간이 필요하고(5°C 120일), 휴면이 타파된 번데기의 성충까지 우화하는데 필요한 적산온도는 발육영점온도 4°C 기준 2,024DD가 된다(Emery and Mills, 2019). 따라서 다음연도 성충 모니터링을 위한 트랩설치는 1,800DD 이전에 실시한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Harris, 1989; CABI and EPPO, 2006rc; CABI, 2019rc; PBCRC, 2019rc)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	견과류: 호두(*)	*심한 피해
2차 기주식물	핵과류: 복숭아	**실내사육성공
기주기록		***검정요

○ 분포지역 (인용: CABI and EPPO, 2006rc; CABI, 2019rc)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	유럽: 스위스	
제한적 분포	북아메리카: 멕시코(남부) 유럽: 독일, 슬로베니아, 이탈리아(Piemonte, Lombardia, Friuli-Venezia Giulia), 프랑스, 헝가리	
분포기록	북아메리카: 미국(Arizona, California, Colorado, Oregon, Idaho, Iowa, Iowa, Kansas, Kansas, Minnesota, Mississippi, Missouri, Nebraska, Nevada, New Mexico, Oklahoma, Oregon, Texas, Utah, Washington) 유럽: 네덜란드, 보스니아 헤르체고비나, 오스트리아, 크로아티아	존재유무만 언급된 경우

#### (9) 에티오피아과실파리(*Dacus ciliatus*)

이 종은 아프리카에서 아시아 지역까지 폭 넓게 분포하며 박과류 과실에 발생하는 다식성 과실파리이다(CABI, 2009dc). 연중 발생하지만 여름철에 발생밀도가 높으며(Hancock, 1989), 오이과실파리와 비교하여 더 저온지역에서 정착이 가능하다(CABI, 2009dc).

발육기간은 실내사육 조건(25°C)에서 알기간 3.0일, 유충기간 7.3일, 번데기 기간 9.3일, 성충은 14~45일 생존하였고 산란수는 322.6개로 나타났다(Fetoh, 2006). 성충은 우화 14~15일 성적 성숙에 도달하는데(CABI, 2009dc), 다른 보고에 의하면 여름철에는 5~6일, 겨울철에는 20~30일이 필요하다(El Nahal et al., 1971). 자료를 종합하면 알-알 세대기간은 34.1일로 임의의 발육 영점온도 10°C에서 적산온도는 511.5DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006dc)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	박류: 오이, 애호박(squash), 기타 박류( <i>Cucumis melo</i> )	*심한 피해
2차 기주식물	채소류: 오코라, 콩, 토마토	**실내사육성공
기주기록	박류: Luffa, 박(gourd), 수박, 호박	***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006dc)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아프리카: 가나, 나미비아, 나이지리아, 남아프리카 공화국, 레소토, 레위니옹, 르완다, 마다가스카르, 말라위, 모리셔스, 모잠비크, 베냉, 보츠와나, 세네갈, 소말리아, 수단, 시에라리온, 앙골라, 에리트레아, 에티오피아, 우간다, 이집트, 자이르, 케냐, 탄자니아 아시아: 미얀마, 방글라데시, 사우디아라비아, 스리랑카, 예멘, 이란, 인도(Delhi, Gujarat, Maharashtra, Punjab, Tamil Nadu, Uttar Pradesh), 파키스탄 오세아니아:	존재유무만 언급된 경우

#### (11) 파푸아호박과실파리(*Bactrocera decipiens*)

파푸아뉴기니 일부지역에서 호박에서 만 발생하는 종으로 오이과실파리와 혼재하여 발생하며, 발육속도는 훨씬 느리다(SPC, 2013bd). 그 동안 이 종의 유인제는 알려져 있지 않았으나 Cera Trap(단백질 트랩) 효과적으로 유인되어 검역 예찰용으로 사용 가능한 것으로 평가되었다(Royer et al., 2018).

이 종에 대한 생태자료는 거의 알려져 있지 않으며, 유전적으로 호주오이과실파리와 가까운 것으로 분석되었다(Krosch et al., 2012). 따라서 호주오이과실파리 기준에 준하여 예찰모형을 적용한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bd)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: 애호박(squash), 호박 열대작물: 아보카도	***검정요

○ 분포지역 (인용: Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 파푸아뉴기니(New Britain)	존재유무만 언급된 경우

### (12) 올리브과실파리(*Bactrocera oleae*)

올리브과실파리는 올리브를 재배하는 지중해지역에 주로 분포하며 아프리카와 미국 캘리포니아, 멕시코 등지에도 분포하고 있다. 이스라엘에서 성충은 연중 발생하지만(Freidberg and Kugler, 1989), 서늘한 지역에서는 여름철에만 성충이 출현하고 겨울은 토양에서 번데기로 지낸다(CABI, 2018bol). 미국 캘리포니아에서는 내륙지역에서는 번데기로 월동하고 3월부터 5월 우화한다(Weems and Nation, 2012). 연중 다세대 발생하는데(미국 캘리포니아 : Yokoyama, 2012), 여름에서 초가을까지는 올리브 과실속에서 발육을 완료하여 성충으로 우화하고, 늦가을에는 노숙유충이 땅으로 떨어져 번데기로 된다(Tsitsipis, 1984; Tsitsipis and Loher, 1987).

월동생태는 다양한 것으로 알려져 있다. 성충은 조건적 생식 휴면상태로 월동에 들어가고 다음해 먹이조건이 이용 가능하게 되는 시기에 활동을 시작한다(Tzanakakis and Koveos, 1986; Koveos and Tzanakakis, 1990). 또한 이태리에서는 3~5월 성충활동 개체군이 관찰되고 이 개체군은 월동번데기에서 발생하는 것으로 확인되었다(Petacchi et al., 2015).

올리브과실파리 발육기간은 27°C에서 알, 유충, 번데기 기간 각각 2.67일, 10.86일, 8.26일이었고, 16°C에서는 각각 11.40일, 33.40일, 28.40일; 22°C에서는 각각 4.30일, 14.13일, 12.67일; 35°C에서는 번데기 발육이 불가하였으며 알 2.13일, 유충 5.06일 이었다(Genç and Nation, 2008). 또한 여름철 산란전기간은 6~10일이 소요되며 알 2~4일, 유충 10~14일 번데기 10일 정도이다(Weems and Nation, 2012).

여름철 알에서 성충까지 발육에 필요한 적산온도는 발육영점온도 8.99°C에서 379.01DD로 알려졌다(Crovetti et al., 1982). 여기에 산란전기간 약 128DD를 추가하면 알-알 세대기간은 507DD가 되었다(25°C에서 산란전기간 8일 적용).

봄철 성충우화 예측은 379.01DD를 바탕으로 늦가을 낳은 알에서 유충이 발육하여 다음해 성충이 출현하는 시기를 추정할 경우가 있다(Crovetti et al., 1982). 번데기로 월동하는 지역에서는 발육영점온도 12.36°C와 적산온도 170.9DD를 이용하여 성충우화시기의 추정이 가능하다(Genç and Nation, 2008).

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI, 2018bol)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	핵과류: 올리브	*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	핵과류: 자두	***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI, 2018bol)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	유럽: 그리스(mainland, Crete), 사이프러스, 스페인(Belearic islands), 이탈리아(Sardinia, Sicily), 포르투갈(mainland, Azores)	
제한적 분포	북아메리카: 미국(California) 아시아: 인도(Jammu and Kashmir) 유럽: 프랑스(Corsica)	
분포기록	북아메리카: 멕시코 아시아: 레바논, 사우디아라비아, 시리아, 요르단, 이란, 이스라엘, 조지아, 터키, 파키스탄 아프리카: 남아프리카 공화국, 레위니옹, 리비아, 모로코, 모리셔스, 세이셸, 수단, 알제리, 앙골라, 에리-레아, 에티오피아, 이집트, 카나리아 제도, 케냐, 튀니지 유럽: 말타, 몬테네그로, 세르비아, 스위스, 슬로베니아, 알바니아, 크로아티아	존재유무만 언급된 경우

### (13) 서부양벧과실파리(*Rhagoletis indifferens*)

서부양벧과실파리는 북미원산으로 연 1세대 발생하며 복숭아나 체리 등을 가해하고 번데기로 월동하는 해충이다. 북미에서 이 종은 서부지역에 분포한다.

발육영점온도 5°C 적용시 각 발육단계 완료에 필요한 적산온도는 휴면 후 발육(월동 번데기 발육) 650DD, 산란전기간 79DD, 성충수명 500DD, 알 발육 53DD, 유충발육 201DD 등으로 알려져 있다(AliNiazee 1979; Jones et al., 1991; Song et al., 2003).

따라서 봄철 성충우화시기는 발육영점온도 5°C를 적용하여 예측하고, 50% 우화기가 650DD이므로 580DD 전에 트랩을 설치한다. 성충수명은 500DD에 해당되므로 마지막 발견일부터 성충사망일을 추정할 수 있다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Harris, 1989; CABI and EPPO, 2006ri; PBCRC, 2019ri)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	핵과류: 앵두(*), 자두	*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록		***검정요

○ 분포지역 (인용: CABI and EPPO, 2006ri)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	북아메리카: 미국(Arizona, California, Colorado, Idaho, Montana, New Mexico, Oregon, Utah, Washington, Wyoming), 캐나다(south-eastern British Columbia) 유럽: 스위스	존재유무만 언급된 경우

#### (14) 블랙체리과실파리(*Rhagoletis fausta*)

북아메리카 동서부 모두에 발생하는 종으로 주로 체리(*Prunus* spp.)을 가해하며, 핵심 기주식물은 미서부는 Bitter Cherry (*P. emarginata*, 산벚나무 일종), 동부는 Pin Cherry (*P. pensylvanica*) 이다 (Foote et al., 1993).

생활사는 블랙베리과실파리와 유사하며, 미국 펜실바니아에서는 6월 성충이 우화하는 것으로 알려져 있다(Jubb and Cox, 1974). 아직 자세한 온도발육 자료가 보고되지 않은 종으로 블랙베리과실파리와 같은 기준을 적용할 수 있다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Harris, 1989; Weems, 2001rci; CABI, 2018rf; PBCRC, 2019rf)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	핵과류: 앵두(*)	*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록		***검정요



○ 분포지역 (인용: CABI, 2018rf)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	북아메리카: 미국(California, Michigan, New York, Massachusetts, Ohio, Pennsylvania, Wisconsin, Maine, New Hampshire, Idaho, Minnesota, Washington, Oregon, Montana), 캐나다(Ontario, Quebec, Manitoba, New Brunswick Newfoundland and Labrador, Alberta, British Columbia)	
분포기록		존재유무만 언급된 경우

(15) 신세계구아바과실파리(*Anastrepha striata*)

도금양과(Myrtaceae)의 구아바류(*Psidium* spp.)를 비롯한 *Campomanesia*, *Eugenia*, *Myrcia* 속의 식물을 가해하는 것으로 알려져 있으며(CABI, 2018ast), 감귤의 해충으로도 보고되었다(White and Elson-Harris, 1992). 성충은 연중 발생하고(Christenson and Foote, 1960) 성적성숙이 완료되기 위해서는 약 15일이 소요된다(Ramirez-Cruz et al., 1996).

정확한 생태자료가 보고되어 있지 않으며 대략 온도에 따라 알기간 3~6일, 유충기간 15~25일, 번데기 기간 15~19일(CABI, 2018ast)이 기록되어 있다. 따라서 임의의 발육영점온도 10°C를 적용하고 25°C에서 발육기간 알 4.5일, 유충 20일, 번데기 17일, 산란전기간 15일로 하여 알-알 세대기간 847.5일도를 추정하였다.

○ 기주식물 (인용: Enkerlin et al., 1989; White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001ast; CABI, 2018ast; USDA/APHIS, 2018ast; PBCRC, 2019ast)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 구아바(*)	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 만다린, 오렌지 인과류: 비파 준인과류: 감 핵과류: 복숭아 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 망고, 사포테, 스타애플, 아보카도, 열대아몬드, 열대재배 체리(* <i>Eugenia</i> spp.), 카람볼라, 캐슈넛, 커피, 파파야, 패션프룻, 호코테	

○ 분포지역 (인용: CABI, 2018ast)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	북아메리카: 멕시코 남아메리카: 베네수엘라, 페루 중앙아메리카 및 카리브 일대: 과테말라, 온두라스, 코스타리카, 트리니다드토바고, 파나마	
제한적 분포	남아메리카: 브라질(Acre, Amapa, Amazonas, Goias, Maranhao, Mato Grosso do Sul, Para, Piaui, Rondonia, Roraima, Sao Paulo, Tocantins)	
분포기록	중앙아메리카 및 카리브 일대: 네덜란드령 안틸제도, 니카라과, 벨리즈 남아메리카: 가이아나, 볼리비아, 수리남, 에콰도르, 콜롬비아, 프랑스령 가이아나	존재유무만 언급된 경우

#### (16) 고추과실파리(*Zonosemata electa*)

고추과실파리는 북미 원산으로 미국 북동부와 캐나다 온타리오 남서부에서 고추와 가지의 중요한 해충이며 간헐적으로 대발생한다(Judd et al., 1991). 연 1회 발생하며 번데기 상태로 휴면에 들어가서 토양 10cm 깊이에서 월동한다. 알기간은 8~10일, 유충기간 18일이고, 6월~7월 성충이 우화하여 산란하며 유충은 6월에서 9월까지 보인다(Sparks and Rile, 2007). 기주식물 등 조건에 따라 늦여름 또는 가을에 지연되어 우화하는 경우도 있다. 캐나다 온타리오에서는 6월 하순에서 7월 상순 성충으로 우화하였다(Judd et al., 1991).

자세한 생태정보가 없는 상태이며, 고추와 도깨비가지(*Solanum carolinense*, horsenettle) 개체군에서 월동고치의 발육영점온도는 9.33°C로 추정되었고 우화시기(50%)는 602DD 이었다(Judd et al., 1991). 이 적산온도 정보를 활용하여 발견 다음연도에 540DD 이전에 예찰트랩을 설치한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; EPPO, 2015)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	채소류: 가지, 고추, 토마토, 피망	***검정요

○ 분포지역 (인용: EPPO, 2015)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	북아메리카: 미국(Florida, Iowa, Massachusetts, Texas), 캐나다(Ontario, Quebec)	존재유무만 언급된 경우

(17) 블루베리과실파리(*Rahgoletis mendax*)

미국과 캐나다 등 북아메리카 동부에 분포하는 종으로 진달래과(Ericaceae)에 속한 광범위 식물을 가해하며 블루베리가 주요기주이고, 야생 자두(*Prunus* sp.)에도 발생하는 것으로 기록에 있다(CABI, 2018rm). 이 종은 연 1회 발생하며 성충이 보통 6월 하순부터 8월 상순까지 나타나고, 알, 유충을 거쳐 번데기는 휴면상태로 월동에 들어가서 다음해 우화한다(Boller and Prokopy, 1976). 뉴저지 남부에서는 만생종('Elliott') 블루베리에 적용하여 9월에 우화하는 개체군이 존재하는 것으로 알려져 있다(Teixeira and Polavarapu, 2001a). 이와같이 기주식물 환경에 따라 블루베리과실파리의 월동번데기 우화시기는 변이가 크다.

블루베리과실파리 알기간은 3~7일, 유충 2~5주, 성충은 약 40일 생존한다(CABI, 2018rm). 월동번데기의 발육에는 다양한 요인이 관여하지만 7°C 이상에서 휴면후발육이 진행되었고(Teixeira and Polavarapu, 2005a), 우화까지 기간은 20°C에서 약 50일(Teixeira and Polavarapu, 2005b) 이었다.

이 과실파리는 연 1회 발생하기 때문에 대응조치 과정에서 세대기간 추정이 불필요하며, 다음해 모니터링의 개시 시점의 결정이 요구된다. 발육영점온도를 7°C로 성충우화에 필요한 적산온도를 추정한 결과 '(20-7)×50 = 650DD'가 되었다(따라서 50% 우화일은 650일도가 됨). 다음해 조사를 위한 트랩설치는 580DD가 되기전 실시한다. 기타 조사에 대한 의사결정은 연간 1세대 발생하는 다른 종의 경우를 참조한다(중국 또는 일본굴과실파리).

○ 기주식물 (인용: Harris, 1989; White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001rm; CABI, 2018rm)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	장과류: 블루베리	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	장과류: 허클베리 핵과류: 복숭아	

○ 분포지역 (인용: CABI, 2018rm)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	북아메리카: 미국(Alabama, Connecticut, Florida, Georgia, Illinois, Indiana, Kentucky, Maine, Maryland, Massachusetts, Michigan, Minnesota, Missouri, New Hampshire, New Jersey, New York, North Carolina, Ohio, Pennsylvania, Rhode Island, South Carolina, Tennessee, Virginia, West Virginia, Wisconsin), 캐나다(New Brunswick, Nova Scotia, Ontario, Prince Edward Island, Quebec)	
분포기록		존재유무만 언급된 경우

### (18) 남미호박과실과리(*Anastrepha grandis*)

이 종은 신열대성 곤충으로 아메리카 중부와 남부에 분포하며 메론, 호박, 오이 등의 중요한 해충이다(NAPPO, 2009; Reviewed in Bolzan et al., 2017).

알과 번데기의 발육영점온도는 8.3°C이고 적산온도는 각각 132.3DD과 347.0 DD이었고, 알-알 기간은 15°C 168.9일, 20°C 102.8일, 25°C 68.9일, 30°C 66.4일 이었다(Bolzan et al., 2017). 따라서 발육영점온도 8.3°C에서 알-알 세대기간에 필요한 적산온도는 1161.7DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001ag; CABI, 2019ag)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	박류(*): 호박, 기타 박류( <i>Cucumis melo</i> )	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 오렌지(***) 박류(*): 박(gourd), 수박, 애호박(squash), 오이 열대작물: 구아바(***), 패션프룻(***)	

- 박류는 덜익은 것을 선호

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Weems, 2001ag; CABI, 2019ag)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역	남아메리카: 아르헨티나(북부: Corrientes, Entre Rios, Misiones, Saita)	
제한적 분포	남아메리카: 베네수엘라(Aragua, Barinas, Carabobo, Zulia), 브라질, 에콰도르, 콜롬비아, 페루 중앙아메리카 및 카리브 일대: 파나마	
분포기록	남아메리카: 볼리비아, 파라과이	존재유무만 언급된 경우

### (19) 암모니아 그룹 과실파리의 발생예찰

AA-유인제 그룹은 모두 연중발생하는 중, 다세대 발생종, 1세대 발생종으로 구성되어 있다. 연중발생 종은 세대예찰모형을 적용한다. 다세대 종의 경우도 세대예찰 모형을 적용할 수 있다. 1세대 발생종은 세대예찰이 불필요하며 다음해 성충우화모형을 적용하여 예찰을 재개한다. 평균대기온도에서 발육영점온도(LT) 이상의 온도를 누적하여 해당 적산온도(DD)를 계산한다.

표. AA-유인제 그룹 과실파리 발생예찰용 온도발육 매개변수

기존 등급	신규 등급	한국명	생활사	월동태	예찰모형	LT	DD	비고
금지	I	카리브해과실파리	연중발생		세대기간	11.6	616.4	
금지	I	남미과실파리	연중발생		세대기간	10	691.5	
금지	I	멕시코과실파리	연중발생		세대기간	9.4	1,068.8	
금지	II	러시아참외과실파리	2~4	번데기	세대기간	10.0	592.5	
금지	II	사포테과실파리	연중발생		세대기간	10.0	712.0	
금지	II	체리과실파리	1세대	번데기	성충우화	5.0	650.0	
금지	II	유럽양벚과실파리	1세대	번데기	성충우화	5	430	
금지	II	남방호두과실파리	1세대	번데기	성충우화	4	2024	
	II	에티오피아과실파리	연중발생		세대기간	10	511.5	
	III	파푸아호박과실파리	연중발생		세대기간	10	532.5	1
	III	올리브과실파리	연중발생		세대기간	8.99	507	
				번데기	성충우화	12.36	170.9	
금지	III	서부양벚과실파리	1세대	번데기	성충우화	5.0	650.0	
금지	III	블랙체리과실파리	1세대	번데기	성충우화	7.0	650.0	
금지	III	신세계구아바과실파리	연중발생		세대기간	10.0	847.5	
금지	III	고추과실파리	1세대	번데기	성충우화	9.33	602	
	IV	블루베리과실파리	1세대	번데기	성충우화	7.0	650.0	
	IV	남미호박과실파리	연중발생		세대기간	8.3	1161.7	

1 호주오이과실파리 적용

러. 기타 유인물질 유인 과실파리 생태 및 발생예찰

(1) 노던준수과실파리(*Bactrocera aquilonis*)

이 종은 호주 북서부에 분포하는 과실파리로 퀸즐랜드과실파리와 형태 및 유전적으로 매우 유사한 종으로 알려져 있다(QFFRL, N.D.). 북부 서식 노던준수과실파리는 남부서식 퀸즐랜드과실파리 보다 퀸즐랜드 서식개체와 유전적으로 더 가깝다. 노던준수과실파리와 퀸즐랜드과실파리의 서식처는 건조한(사막) 북서부와 중앙 퀸즐랜드 서부지역으로 격리되어 있으며 동일종인지에 대한 논쟁이 이어졌다(Wang et al., 2003). 이후 Cameron et al.(2009)은 호주서부에서 과실파리 표본을 수집하여 분석하고 북부에 존재하는 유사종인 *B. aquilonis*이 존재하지 않은 것으로 결론 내렸다.

노던준수과실파리에 대한 생태정보는 알려진 바가 없으며, 퀸즐랜드과실파리와 생태적으로 동일함으로 동일한 발생예찰 기준을 따른다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; PBCRC, 2019baq)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 금귤, 레몬, 자몽, 탄제린, 포멜로 박류: 박(gourd)(* ) 인과류: 비파, 사과 채소류: 토마토, 피망 핵과류: 대추, 복숭아 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 구아바(*), 망고, 바나나, 사포테, 스타애플, 아보카도, 열대아몬드, 열대재배 체리 ( <i>Eugenia uniflora</i> ), 카람볼라, 캐슈넛, 호코테	

\* USDA에서 아몬드(sweet almond)와 자두(plum)를 기주로 표기한 것은 White and Elson-Harris (1992)의 열대아몬드와 호코테 기록에서 유래한 것으로 보임

○ 분포지역 (인용: CABI, 2017baq; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 호주(Western Australia, Northern Territory)	존재유무만 언급된 경우

(2) 나탈과실파리(*Ceratitis rosa*)

이 종은 기주범위가 넓은 해충으로 아프리카 동부와 남부에 국한하여 분포하며 아열대내지 온대기후 환경에 잘 적응하는 과실파리류이다(CABI, 2018cr). 주로 아프리카 고지대 발생하며 저온에 내성을 갖고 있어 사과와 복숭아 등 온대과수 피해를 준다(Ekesi et al., 2016).

나탈과실파리의 알-알기간은 15°C에서 63.3일, 20°C 33.7일, 25°C 22.1일, 30°C 17.0일63.3일 (Duyck and Quilici, 2002.)로 발육영점온도는 9.1°C로 추정되었고, 세대완료에 필요한 적산온도는 495.1DD가 되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006cr)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 금귤, 오렌지, 탄제린 인과류: 마르멜로, 배, 사과 준인과류: 장과류: 무화과, 블랙베리(***), 포도(***) 채소류: 고추, 토마토 핵과류: 대추, 복숭아, 살구, 자두 기타류: 선인장(***) 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 구아바, 리치, 망고, 바나나, 사포테, 아보카도, 열대아몬드, 열대재배 자두 ( <i>Carissa macrocarpa</i> ), 열대재배 체리( <i>Eugenia uniflora</i> ), 카람볼라, 카카오, 커피, 파파야	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006cr)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아프리카: 나이지리아, 남아프리카 공화국, 레위니옹, 르완다, 말라위, 말리, 모리셔스, 모잠비크, 스와질란드, 앙골라, 에티오피아, 우간다, 자이르, 잠비아, 짐바브웨, 케냐, 탄자니아	존재유무만 언급된 경우

### (3) 호주오이과실파리(*Bactrocera cucumis*)

이 종은 박과류 식물을 주고 가해하며 기타 토마토나 파파야에도 발생되고, 호주지역에 분포한다. 오이과실파리와 타우과실파리와 더불어 공통 조상을 갖고 있는 것으로 알려졌다(Nakahara and Muraji, 2008). 상기 두 종은 Cuelure에 수컷이 유인되나 호주오이과실파리는 특정한 유인제가 보고되지 않았다.

발육기간은 25°C 조건에서 유충기간 6.5일, 번데기 기간 10~11일, 산란전기간은 15~18일로 알려져 있다(Vuttanatumgum and Hooper, 1974). 알기간을 유사종인 오이과실파리 2일을 적용하고 번데기기간 평균 10.5일, 산란전기간 평균 16.5일로 계산할 때 알-알 세대기간은 35.5일로 추정되었다. 따라서 임의의 발육영점온도 10°C에서 세대완성에 필요한 적산온도는 532.5DD이 되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Drew and Romig, 1997; Margosian et



al., 2007)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	박류(*): Luffa, 박(gourd), 애호박(squash) 오이, 호박, 기타 박류( <i>Cucumis melo</i> ) 채소류: 토마토(*) 열대작물: 파파야(*), 패션프룻	

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포	오세아니아: 호주(동부와 북부, New South Wales(동북부), Northern Territory, Queensland, Torres Strait Islands)	
분포기록		존재유무만 언급된 경우

#### (4) 남태평양과실파리(*Bactrocera psidii*)

뉴칼레도니아에 제한하여 분포하며, 망고, 사과류, 포멜로(감귤류 일종), 복숭아, 체리 등 30여종의 기주식물이 알려져 있는데 만다린 감귤은 기주로 되어 있지 않다(Leblanc and Amice, 2000). 기주식물 중에서는 구아바를 가장 선호한다.

성충은 낮에 광도가 높을 때 교미하며 시골 열대다우림지역에서 주로 서식하며, 뉴칼레도니아에서 바나나 기반의 인공사료에 유충이 사육되었다(SPC, 2013bp). 퀴즐랜드과실파리와 혼재하여 구아바와 복숭아에 각각 10마리/과 및 3마리/과의 피해 관찰되었다. 구아바에서는 퀴즐랜드과실파리 피해가 남태평양과실파리보다 10배 높지만, 복숭아에서는 남태평양과실파리 피해가 2배 더 높다(Amice and Sales, 1997).

알려진 일반 생태자료가 없는 상태로 퀴즐랜드과실파리와 혼재하여 피해를 주는 종으로 퀴즐랜드과실파리에 준하여 예찰모형을 적용한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; CABI, 2017bp; PBCRC, 2019bp)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	열대작물: 구아바(*) 핵과류: 복숭아	
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 라임, 레몬, 만다린, 시트론, 오렌지, 자몽, 탄제린, 포멜로 준인과류: 감 장과류: 딸기류, 무화과, 석류, 오디, 포도 핵과류: 자두 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 망고(*), 열대아몬드, 열대재배 체리( <i>Eugenia uniflora</i> ), 카람볼라, 캐슈넛, 파파야, 패션프룻	

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013bp; CABI, 2017bp; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 뉴칼레도니아	존재유무만 언급된 경우

##### (5) 바누아투과실파리(*Bactrocera trilineola*)

이 종은 태평양 남서부 바누아투 도서에 제한적으로 분포하는 종으로 이 지역에서는 구아바 95%, 말레이 사과(Malay apples) 64%, 망고 11%까지 피해를 주는 것으로 알려져 있다(SPC, 2013bt). 성충은 아침에 교미를 시작하여 낮까지 긴 시간동안 지속되며, 우화 11일후 교미를 시작한다. 남반부에서 발생최성기는 망고 숙기 1월에서 2월, 구아바 숙기4월에서 5월에 나타난다(SPC, 2013bt). 또한 파파야기반 인공사료 이용 25°C에서 알-성충 발육기간은 21~22일 이다.

자세한 온도발육자료가 알려져 있지 않은 상태로 25°C에서 알-성충 발육기간 21.5일, 일반적으로 교미후 산란을 시작하므로 11일을 산란전기간으로 간주하고, 임의의 발육영점온도로 10°C를 적용하였을 때 알-알 세대기간은 487.5DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Leblanc et al., 2012; PBCRC, 2019bt)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: 금귤, 레몬, 만다린, 오렌지, 포멜로 견과류: 밤 장과류: 무화과 열대작물: <i>Annona</i> 류, <i>Syzygium</i> 류, 구아바, 망고(*), 바나나, 아보카도, 열대아몬드, 열대재배 체리( <i>Eugenia uniflora</i> ), 카람볼라, 캐슈넛, 파파야, 호코테	

○ 분포지역 (인용: Leblanc et al., 2012; Allwood et al., 1999; Drew and Romig, 1997; SPC, 2013bt; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 뉴칼레도니아, 바누아투, 솔로몬 제도	존재유무만 언급된 경우

#### (6) 뽕나무과실파리(*Bactrocera bancroftii*)

대극과에 속한 천선과와 유사한 과실(*Pimelodendron amboinicum*)에 발생하는 협식성 과실파리로서 호주, 파푸아뉴기니, 솔로몬 군도 등에 분포한다(Leblanc et al., 2012; Doorenweerd, et al., 2018). ME에 약하게 유인되는 종으로 알려져 있다(NSWG, 2019).

이 종의 생태자료는 전혀 알려져 있지 않은 상태로 남방고추과실파리와 유전적으로 가장 가까운 것으로 보이며(Krosch et al., 2012), 따라서 세대예찰은 남방고추과실파리에 준하여 실시할 수 있다.

○ 기주식물 (인용문헌: Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	기타: <i>Pimelodendron amboinicum</i>	***검정요

○ 분포지역 (인용: Allwood et al., 1999; Leblanc et al., 2012; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 솔로몬제도, 파푸아뉴기니, 호주(Torres Strait Islands, Queensland)	존재유무만 언급된 경우

### (7) 인도굴과실파리(*Bactrocera caryeae*)

인도 남부에서 오리엔탈과실파리가 주로 낮은 지대에 분포하는 것과 비교하여 높은 지대에 발생하는 종으로 같은 종군에 속한다(CABI, 2017bc). 오리엔탈과실파리와 유사한 생태특성과 기주분포를 갖은 것으로 보이며, 세대예찰모형도 이에 준한다.

○ 기주식물 (인용문헌: White and Elson-Harris, 1992; Allwood et al., 1999; Margosian et al., 2007; CABI, 2017bc; PBCRC, 2019bc)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물	감귤류(*): 탄제린, 포멜로 열대작물: 구아바(*), 망고(*), 사포테	*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물	열대작물: 바나나	
기주기록	감귤류(*): 라임, 레몬, 만다린, 시트론, 오렌지, 자몽 장과류: 무화과 핵과류: 자두(***) 열대작물: 커피	

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; CABI, 2017bc; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 스리랑카, 인도	존재유무만 언급된 경우

#### (8) 태국복숭아과실파리(*Bactrocera pyrifoliae*)

베트남 북부와 베트남과 태국의 고지대 복숭아와 자두에서 주로 발생하며, 주로 6월 상순에서 7월 중순 기간에 한하여 1,000~1,500 지대에서 발견되었다(Khanh et al., 2014). 수컷 유인제가 잘 알려져 있지 않으나 Cue-lure에 약하게 유인되는 것으로 보고되었다(Drew and Romig 2013).

태국복숭아과실파리의 발육기간(25°C 적용)은 알 2.51일, 유충 9.69일, 번데기 11.5일, 산란전 기간 21.7일로 알-알 세대기간은 45.4일로 나타났다(Khanh et al., 2014). 이들의 같은 연구에서 6~7월에 한하여 유충이 채집되는 점을 근거로 번데기로 휴면할 가능성을 제시하였으나, 실내에서 7세대까지 인공사료로 누대사육되는 것(Khanh et al., 2014)으로 볼 때 의무적 휴면을 하는 종은 아닌 것으로 추정된다. 이 종은 구아바류(*Psidium guajava*)와 감귤류(*Citrus reticulata*)에 발생하는 종(Khanh et al., 2008)이기 때문에 야생 대체기주에서 유지될 가능성도 존재한다(Khanh et al., 2014). 단, 온대과수가 재배되는 베트남 고지대에서는 1세대가 완료될 수 있다.

알-알 세대기간 추정에 필요한 적산온도는 임의의 발육영점온도 10°C를 적용하여 681.0DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: Allwood et al., 1999; Drew and Romig, 1997)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	인과류: 배 핵과류: 복숭아, 앵두 열대작물: 구아바	

○ 분포지역 (인용: Drew and Romig, 1997; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 베트남(북부), 태국(북부)	존재유무만 언급된 경우

### (9) 아스파라거스과실파리(*Plioreocepta poeciloptera*)

이 종은 아스파라거스에 단식성이고 번데기로 월동하고 년 1회 발생하는 온대성 과실파리 (Lesne, 1913)로서 프랑스에서 3월 하순에서 4월 상순 성충이 나타난다(Reulet, 1991). 수컷이 페로몬으로 추정되는 isopropyl (S)-5-hydroxyhexanoate을 분비하나 암컷이 유인되지는 않는다(Thibout et al., 2005).

일화성 해충으로 대응조치과정에서 세대예찰은 불필요하다. 기주식물에서 유충이나 토양의 번데기를 대상으로 예찰하고, 다음해 봄 성충이 우화하는 아스파라거스 발아기부터 예찰을 실시한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	기타: 아스파라거스	***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	유럽: 독일, 스웨덴, 오스트리아, 헝가리	존재유무만 언급된 경우

### (10) 호두과실파리(*Rhagoletis suavis*)

호두과실파리와 형태적으로 유사하고 비슷한 생활사를 갖고 있는 것으로 알려져 있다(Foote et al., 1993; OEPP/EPPO, 2011). 호두과실파리 종 그룹(*Rhagoletis suavis* species group)은 분포와 생활사에서 유사한 6종(*R. suavis*, *R. juglandis*, *R. completa*, *R. boycei*, *R. zoqui*, *R. ramosae*)의 과실파리를 포함하고 있는 것으로 보고되었다(Glover et al., 2018). 따라서 남방호두과실파리에 준하여 관리한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006rc)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물	핵과류: 복숭아	**실내사육성공
기주기록	견과류: 호두	***검정요

○ 분포지역 (인용: CABI and EPPO, 2006rc)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	북아메리카: 미국(Arkansas, Connecticut, Florida, Illinois, Indiana, Iowa, Kansas, Maryland, Massachusetts, Michigan, Minnesota, Mississippi, Missouri, Nebraska, New Jersey, New York, North Carolina, Ohio, Pennsylvania, South Carolina, Virginia, West Virginia, Wisconsin)	존재유무만 언급된 경우

#### (11) 중국망고과실파리(*Bactrocera tuberculata*)

미얀마, 중국남부, 태국, 베트남, 방글라데시 등 지역에서 망고, 파파야, 복숭아, 왁스잠부, 시포딜라(sapodilla)에 피해를 주는 종이다(PBCRC, 2019btu). 형태적으로 구아바과실파리와 매우 유사하며(PBCRC, 2019btu), 유전적으로는 오리엔탈과실파리 종군에 더 가깝다(Leblanc et al., 2015). 생태자료가 알려져 있지 않으며, 구아바과실파리에 준하여 세대예찰을 적용한다.

○ 기주식물 (인용문헌: White and Elson-Harris, 1992; Allwood et al., 1999; PBCRC, 2019btu)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	핵과류: 복숭아 열대작물: <i>Syzygium</i> 류, 망고, 사포테, 파파야, 호코테	***검정요

○ 분포지역 (인용: Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 미얀마, 방글라데시, 베트남, 부탄, 중국(남부), 태국	존재유무만 언급된 경우

(12) 닳점박이과실파리(*Ceratitis quinaria*)

이 종은 아프리카와 아시아 예멘지역에 분포하며 망고가 중요한 기주이지만 감귤, 구아바, 복숭아 등을 가해한다(CABI, 2018cq). 수컷 유인제는 잘 알려져 있지 않으나 Terpinyl acetate 과 Trimedlure로 조사기록이 있고(Vayssières, et al., N.D.), EGO(Enriched Ginger Oil)에 유인된다고 하였다(Joubert et al., 2015).

닳점박이과실파리에 대한 생태자료는 없으나 *Ceratitis* 속의 과실파리 발육은 유사하며 알기간 2~3일, 유충기간 5~15일, 번데기 기간 8~12일, 산란전기간 6~8일로 기술하고 있다(Vayssières, N.D.). 평균발육기간으로 알-알 세대기간은 29.5일이 되었고, 상온 25°C와 발육영점온도 10°C를 적용할 때 적산온도는 442.5DD로 추정되었다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006cq)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	감귤류: (상세 없음) 장과류: 무화과(***) 핵과류: 복숭아, 살구 열대작물: 구아바	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006cq)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아프리카: 나미비아, 남아프리카 공화국, 말라위, 보츠와나, 수단, 짐바브웨 아시아: 예멘	존재유무만 언급된 경우

(13) 애호박과실파리(*Bactrocera munda*)

이 종은 대만과 필리핀에 분포하며 호박류를 가해한다(Vargas et al., 2015; Shiao, 2019). 애호박과실파리에 대한 생태는 전혀 알려지지 않았다. 수컷의 경우 성충 복판의 형태적 특성이 열대호박꽃과실파리(*B. caudata*) 비슷하며(White and Evenhuis, 1999), 따라서 이 종에 적용한 타우과실파리의 세대예찰 모형을 기준으로 현장에 활용한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Leblanc et al., 2012; Leblanc et al.,



2013b; PBCRC, 2019bmn)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	박류: 호박	***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 대만, 필리핀	존재유무만 언급된 경우

#### (14) 커런트과실파리(*Euphranta canadensis*)

북미에서 구즈베리(gooseberry)와 커런트류(Ribes)에 발생하는 과실파리(Piper et al. 2017)로서 국내에는 유사한 기주식물로 까치밥나무가 있다.

커런트과실파리는 번데기로 토양에서 월동하고 4월 중순(미국 시애틀 지역)부터 40~45일에 거쳐 우화하며, 연 1세대 발생한다(STFS, 2019; PNEP, 2019). 유용한 유인제가 보고되어 있지 않으며, 황색점착트랩에 유살되는 것으로 기록되었다(PNEP, 2019).

연 1세대 발생하는 해충으로 세대예찰은 불필요하며 감염된 기주식물과 토양의 번데기 조사가 중요하다. 월동번데기 우화예측 모형은 수립되어 있지 않은 상태로 4월경부터 예찰을 시작한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006ec)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해
2차 기주식물		**실내사육성공
기주기록	장과류: 구스베리(일반 구스베리와 <i>Ribes</i> spp.)(* )	***검정요

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; CABI and EPPO, 2006ec)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	북아메리카: 미국(북부, 태평양 연안 북서부), 캐나다(북부)	존재유무만 언급된 경우

**(15) 남방호박과실과리(*Bactrocera atrisetosa*)**

파푸아뉴기니에 국한하여 분포하며 호박, 메론, 수박, 토마토, 수세미에서 발생하는 것으로 알려져 있다(SPC, 2013ba). 이 종은 *Z. cucumis*와 형태적으로 매우 유사하며 수컷유인제가 없으므로 단백질 트랩이나 오렌지 암모니움 트랩을 이용하여 예찰한다(PBCRC, 2019za).

생태가 잘 알려져 있지 않으며 형태적으로 유사한 호주오이과실과리의 모형에 준하여 예찰한다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Drew and Romig, 1997; Margosian et al., 2007; Leblanc et al., 2012; SPC, 2013za)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		
2차 기주식물		*심한 피해
기주기록	박류: Luffa, 박(gourd), 수박, 오이, 호박, 기타 박류 ( <i>Cucumis melo</i> ) 채소류: 토마토 열대작물: 바나나	**실내사육성공 ***검정요

○ 분포지역 (인용: SPC, 2013za; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	오세아니아: 파푸아뉴기니(mainland), 호주(Queensland)	존재유무만 언급된 경우

**(16) 동남아망고과실파리(*Bactrocera albistrigata*)**

인도, 인도네시아 등 동남아에서 망고나 구아바 등에 발생하는 과실파리로써 인도지역에서는 피해가 심한 해충으로 알려져 있으며(Bellis, et al., 2017), 오리엔탈과실파리와 형태적으로 유사하고 종군으로 취급되고 있다(CDFA, N.D.; Bellis, et al., 2017). Drew and Romig(2013)는 *Bactrocera* 콤플렉스에서 독립종이며, 동남아시아에 유일하게 발생하는 종으로 기록하고 있다.

동남아망고과실파리에 대한 생태정보는 알려진 바가 없으며, 오리엔탈과실파리와 생태적으로 유사하므로 동일한 발생예찰 기준을 따를 수 있다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Drew and Romig, 1997; Allwood et al., 1999; Margosian et al., 2007; PBCRC, 2019bal)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	열대작물: <i>Syzygium</i> 류(*), 구아바(*), 망고(*), 바나나, 열대아몬드	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Drew and Romig, 1997; Plant Health Australia, 2018)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 말레이시아, 싱가포르, 인도(Andaman Islands), 인도네시아, 태국(북부) 오세아니아: 크리스마스섬, 파푸아뉴기니	존재유무만 언급된 경우

**(17) 셀러리과실파리(*Euleia heraclei*)**

셀러리과실파리는 산형과(미나리과 Apiaceae)에 속한 식물을 폭 넓게 가해하는 해충으로 유럽 폴란드 지역을 중심으로 분포하고 있다(CABI, 2018eh). 러시아 모스크바 지역에서는 년 2세대 발생하며 봄에 산란한 알은 6월 번데기로 되며, 2세대는 8월 중순부터 시작한다(Krivosheina and Ozerova, 2013). 영국에는 전국적으로 분포하는 것으로 기록되어 있다(NBN Atlas Partnership, 2017).

성충은 5월 나타나서 잎 뒷면 조직에 한 개씩 총 100여개의 알을 낳으며, 6~14일 후에 부화한다(Hill, 1987). 유충은 조직 속 갱도를 만들고 가하하고 물집형태의 피해흔이 생기며 14~19

일에 발육을 완료한다. 번데기는 갱속 속 또는 토양에서 되며 성충으로 우화하는 데는 3~4주가 걸린다. 2세대 성충은 7월~9월에 거쳐 우화하며 보통 2세대 번데기는 월동에 들어간다. 따뜻한 지역에서는 3세대가 발생하기도 한다.

기존 보고된 발육기간 자료에 상온 25°C와 발육영점온도 10°C를 적용하여 알-성충기간에 필요한 적산온도를 계산한 결과 765DD가 되었다(세대기간 추정에 적용). 또한 번데기 발육에 필요한 적산온도는 367.5DD가 됨으로 봄철 성충우화 모형으로 활용이 가능하다.

○ 기주식물 (인용: White and Elson-Harris, 1992; OEPP/EPPO, 2000; Pitkin, 2016)

기주식물 구분	기주식물 목록	비고
1차 기주식물		*심한 피해 **실내사육성공 ***검정요
2차 기주식물		
기주기록	채소류: 돼지풀, 당근, 셀러리, 영경귀, 우엉, 파스닙, 허브 (alexanders, angelica(***), chervil, coriander, fennel, elder, eryngo, lovage, parsley, 물냉이)	

○ 분포지역 (인용: White and Elson-Harris, 1992; Pitkin, 2016)

분포지역 구분	국가	비고
확산지역		
제한적 분포		
분포기록	아시아: 아프가니스탄, 이스라엘, 카자흐스탄 아프리카: (사하라 일대에 퍼진 것으로 추정됨) 유럽: 그리스, 네덜란드, 노르웨이, 덴마크, 독일, 러시아, 리투아니아, 말타, 몰도바, 벨기에, 불가리아, 사이프러스, 스웨덴, 스위스, 스페인, 슬로바키아, 영국, 오스트리아, 우크라이나, 이탈리아, 체코 공화국, 폴란드, 프랑스, 핀란드, 헝가리	존재유무만 언급된 경우

### (18) 기타 유인물질 그룹 과실파리의 발생예찰

기타-유인제 그룹은 모두 연중발생하는 종, 다세대 발생종, 1세대 발생종으로 구성되어 있다. 연중발생 종은 세대예찰모형을 적용하여 모니터링 단계별 의사결에 이용한다. 다세대 종의 경우도 세대예찰 모형을 적용할 수 있다. 1세대 발생종은 세대예찰이 불필요하며 다음해 성충우화모형을 적용하여 예찰을 재개한다. 평균대기온도에서 발육영점온도(LT) 이상의 온도를 누적하여 해당 적산온도(DD)를 계산한다. 생태자료가 없는 종은 생태적으로 유사한 종의 모형을 적용하여 사용한다.

표. 기타-유인제 그룹 과실파리 발생예찰용 온도발육 매개변수

기존 등급	신규 등급	한국명	생활사	월동태	예찰모형	LT	DD	비고
금지	I	노던준주과실파리	연중발생		세대기간	11.1	446.6	1
금지	I	나탈과실파리	연중발생		세대기간	9.1	495.1	
금지	I	호주오이과실파리	연중발생		세대기간	10	532.5	
	II	남태평양과실파리	연중발생		세대기간	11.1	446.6	1
	II	바누아투과실파리	연중발생		세대기간	10.0	487.5	
	II	뽕나무과실파리	연중발생		세대기간	10.4	517.5	3
	II	인도굴과실파리	연중발생		세대기간	9.5	717.0	2
	III	태국복숭아과실파리	연중발생		세대기간	10	681	
관리	III	아스파라거스과실파리	1세대	번데기	N/A	N/A	N/A	
금지	III	호두과실파리	1세대	번데기	성충우화	4	2024	4
금지	III	중국망고과실파리	연중발생		세대기간	11.6	454.5	5
금지	III	닷점박이과실파리	연중발생		세대기간	10	442.5	6
	IV	애호박과실파리	연중발생		세대기간	6.0	525.4	7
관리	IV	커런트과실파리	1세대	번데기	N/A	N/A	N/A	
	IV	남방호박과실파리	연중발생		세대기간	10	532.5	8
	IV	동남아망고과실파리	연중발생		세대기간	9.5	717.0	2
	IV	셀러리과실파리	2~3세대	번데기	성충우화	10.0	367.5	
					세대기간	10.0	765.00	

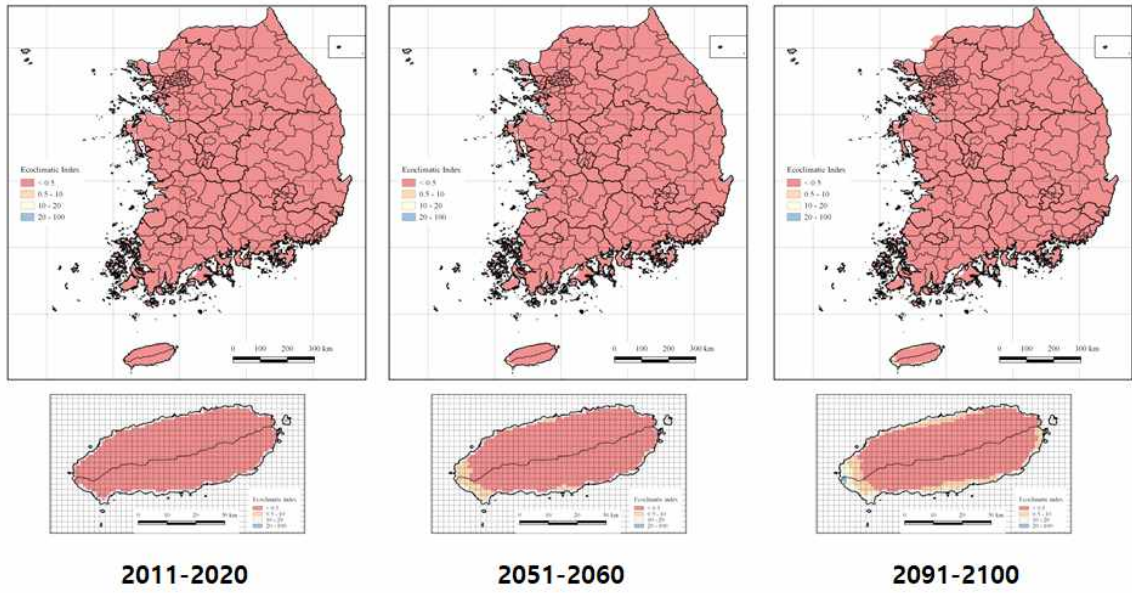
1 퀴즐랜드과실파리 적용, 2 오리엔탈과실파리 적용, 3 남방고추과실파리 적용, 4 남방호두과실파리 적용, 5 구아바과실파리 적용, 6 지중해과실파리 적용, 7 타우과실파리 적용, 8 호주오이과실파리 적용

며. 기타 종의 기후적합 국내정착적합도 평가(지도)

○ 기존 문헌의 CLIMEX 매개변수 수집결과

Species		<i>Anastrepha ludens</i>	<i>Ceratitis rosa</i>	<i>Rhagoletis indifferens</i>
		멕시코과실파리	나탈과실파리	서부양벚과실파리
Moisture	SM0	0.05	0.105	0
Index	SM1	0.2	0.4	0.1
	SM2	0.8	1	0.6
	SM3	1.2	1.5	0.76
Temperautre	DV0	7.8	8.6	3
Index	DV1	14	24	5
	DV2	25	28	25
	DV3	35	33	28
	PDD	607	400	1800
Dry Stress	SMDS	0.1	0.105	0
	HDS	-0.0002	-0.021	0
Wet Stress	SMWS	1.1	1.6	0.76
	HWS	0.001	0.0015	0.001
Cold Stress	TTCS	9	-	-6
	THCS	-0.003	-	-0.001
	DTCS	-	15	-
	DHCS	-	-0.001	-
Heat Stress	TTHS	37	-	28
	THHS	0.0015	-	0.01
	DTHS	-	-	-
	DHHS	-	-	-
Diapause	DPD0	-	-	-
	DPT0	-	-	-
	DPT1	-	-	-
	DPD	-	-	-
References		Geng et al., 2008	deVilliers et al., 2013	Kumar et al., 2014

RCP8.5 기후시나리오에 따른 멕시코과실파리(*Anastrepha ludens*) 기후적합 정착위험도 지도  
 (Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable (적색), 0.50 - 9.99 = marginal (등색), 10 - 19.99 = suitable (베이지색), >20 = optimal (청색) and 100 = perfect)

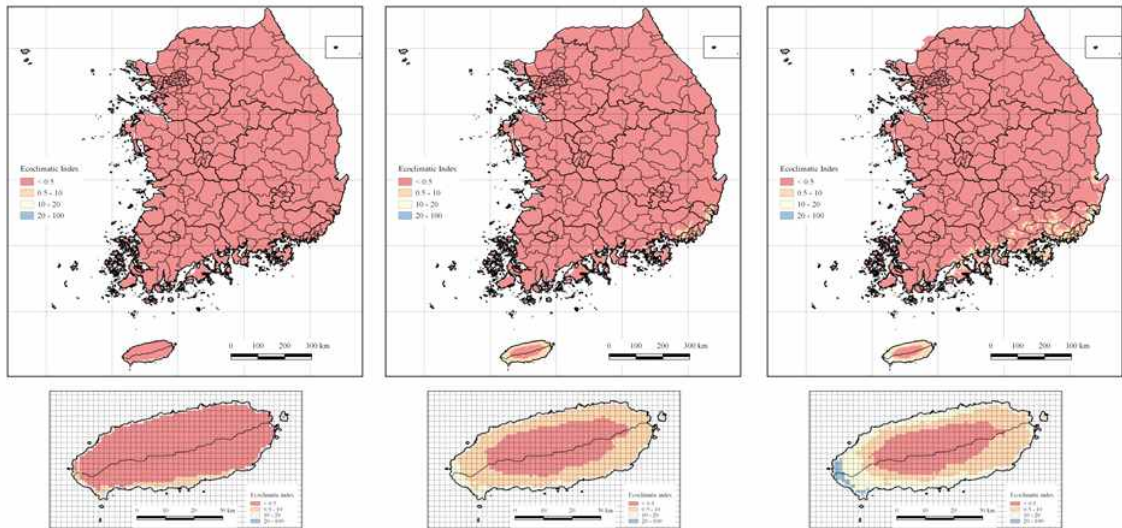


2011-2020

2051-2060

2091-2100

(RCP 8.5 scenario)



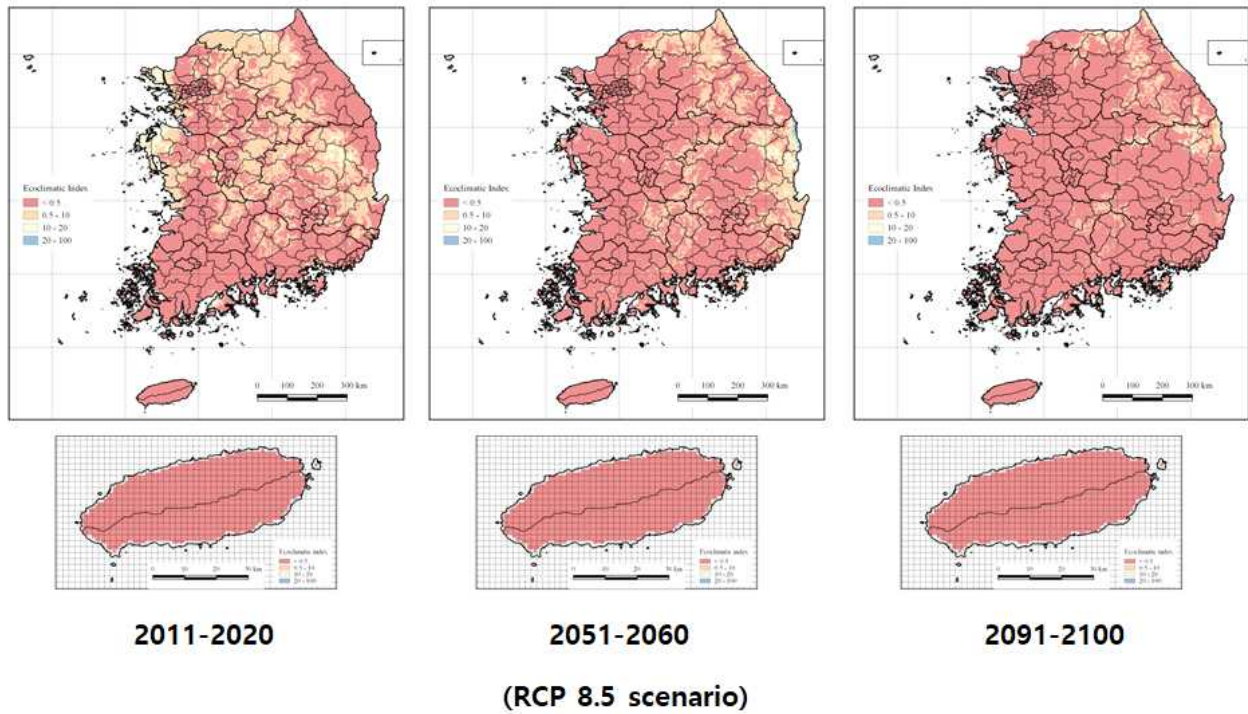
2011-2020

2051-2060

2091-2100

(RCP 8.5 scenario)

RCP8.5 기후시나리오에 따른 나탈과실파리(*Ceratitis rosa*) 기후적합 정착위험도 지도  
 (Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable (적색), 0.50 - 9.99 = marginal (등색), 10 - 19.99 = suitable (베이지색), >20 = optimal (청색) and 100 = perfect)



RCP8.5 기후시나리오에 따른 서부양벚과실파리(*Rhagoletis indifferens*) 기후적합 정착위험도 지도  
 (Ecoclimatic Index 기준, EI : 0 - 0.49 = unsuitable (적색), 0.50 - 9.99 = marginal (등색), 10 - 19.99 = suitable (베이지색), >20 = optimal (청색) and 100 = perfect)



# 제8장 오리엔탈과실파리 모니터링 기술

## 제1절 간이 분자진단 기술

### 1. 연구요약

금지급과실파리 5종과 국내 서식하는 두 과실파리 해충에 대해서 종 특이적 프라이머가 개발되었다. 이 프라이머들을 가지고 각 종마다 특이적 PCR 반응 조건을 결정하여 금지급 과실파리의 종동정이 가능하게 되었다. 본 연구에서 개발된 프라이머는 오리엔탈과실파리, 오이과실파리, 지중해과실파리, 퀴즈랜드과실파리 및 말레이시아과실파리이다. 국내 서식 과실파리는 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 진단 프라이머 및 PCR 조건을 결정하였다. 아울러 이러한 PCR 반응이 이뤄질 수 있는 DNA 추출량을 결정하였으며, 대조구 PCR로서 CO-I 프라이머도 아울러 제공되었다

### 2. 재료 및 방법

**DNA 추출.** 모든 발육태(알, 유충, 번데기, 성충)를 사용할 수 있다. 페놀 및 에탄올 추출법을 이용하여 DNA를 추출하였다. 추출된 DNA 농도는 약 5 ng/μl로 희석하였다.

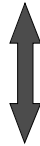
**PCR 반응 조성.** 모든 PCR 반응은 다음의 조성으로 구성되었다. 또한 대조구로서 CO-I 프라이머 서열은 다음과 같다.

DNA	1 μl		
10x buffer	2.5 μl		
dNTP	2 μl	FP	:
FP	1 μl	GGAGGATTTGGAAATTGATTAGTTCC	
RP	1 μl	RP	:
Taq polymerase	1 μl	CCCGGTAAAATTAAAATATAAACTTC	
증류수	16.5 μl		
Total	25 μl	기대크기: 549 bp	


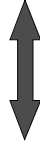
**말레이시아과실파리(*Bactrocera latifrons*) 진단 PCR.** PCR 반응 조건과 종 특이적 프라이머는 다음과 같다.

온도	반응시간		
94 °C	5 min	 <b>35회 증폭</b>	FP
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>		TACTACTATTATTAGTGAGAAGC
<b>53 °C</b>	<b>30 sec</b>		RP
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>		GATAGGATCTCCTCCTCCAGCG
72 °C	10 min		기대크기: 463 bp
4 °C	∞		

오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*) 진단 PCR. PCR 반응 조건과 종 특이적 프라이머는 다음과 같다.


온도	반응시간		
94 °C	5 min	 <b>35회 증폭</b>	FP : CCCATATTATTAGTCAAGAATC
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>		RP : GATTTAATACTAGCCCTGTAA
<b>60 °C</b>	<b>30 sec</b>		기대크기: 452 bp
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>		
72 °C	10 min		
4 °C	∞		

오리과실파리(*Bactrocera cucurbitae*) 진단 PCR. PCR 반응 조건과 종 특이적 프라이머는 다음과 같다.

온도	반응시간		
94 °C	5 min	 <b>10회 증폭</b>	FP : ATTAGGATTTATTGTTTGAGC
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>		RP : TCAATGAACAAATCCTGCTAT
<b>45 °C</b>	<b>30 sec</b>		기대크기: 325 bp
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>		
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>	 <b>30회 증폭</b>	
<b>55 °C</b>	<b>30 sec</b>		
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>		
72 °C	10 min		
4 °C	∞		

퀸즈랜드과실파리(*Bactrocera tryoni*) 진단 PCR. PCR 반응 조건과 종 특이적 프라이머는 다음과 같다.


온도	반응시간
94 °C	5 min
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>
<b>50 °C</b>	<b>30 sec</b>
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>
72 °C	10 min
4 °C	∞


**35회 증  
폭**

FP : CTACCCCCTTCCCTTACTACTAC  
 RP : TTAAGTTTCGATCTGTTAATAA  
 기대크기: 379 bp

지중해과실파리(*Ceratitis capitata*) 진단 PCR. PCR 반응 조건과 종 특이적 프라이머는 다음과 같다.

온도	반응시간
94 °C	5 min
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>
<b>55 °C</b>	<b>30 sec</b>
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>
72 °C	10 min
4 °C	∞


**35회 증  
폭**

FP : GGATTATTAGGATTTATTGTTTGAC  
 RP : GGATATCAATGAACAAATCCTGCT  
 기대크기: 398 bp

호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 진단 PCR. PCR 반응 조건과 종 특이적 프라이머는 다음과 같다.

온도	반응시간
94 °C	5 min
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>
<b>60 °C</b>	<b>30 sec</b>
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>
72 °C	10 min
4 °C	∞


**35회 증폭**

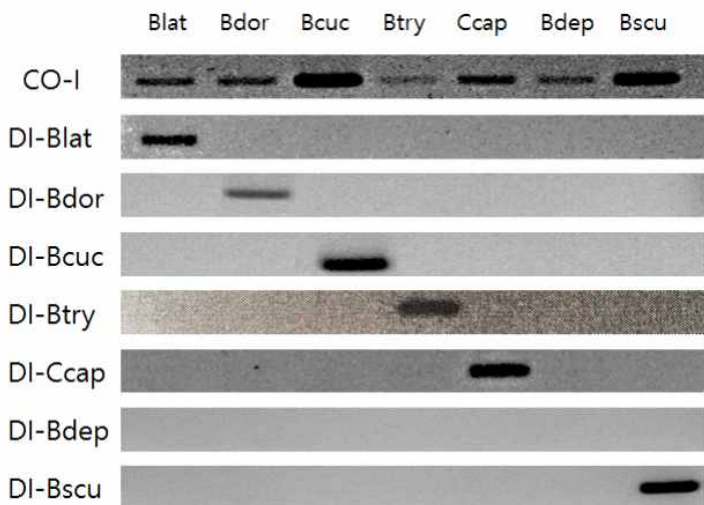
FP : CTCTTTAGGAATAATTTATGCA  
 RP : CAAATACTGCTCCTATTGATAC  
 기대크기: 212 bp

호박꽃과실파리(*Bactrocera scutellata*) 진단 PCR. PCR 반응 조건과 종 특이적 프라이머는 다음과 같다.

온도	반응시간		
94 °C	5 min	 35회 증폭	FP : ATTTTGACTACTGCCCCCTTC
<b>94 °C</b>	<b>30 sec</b>		RP : ATTTTCGATCTGTTAATAGCAI
<b>60 °C</b>	<b>30 sec</b>		기대크기: 395 bp
<b>72 °C</b>	<b>30 sec</b>		
72 °C	10 min		
4 °C	∞		

### 3. 결과

종특이적 프라이머를 이용하여 분석한 결과는 다음과 같다(Fig. 1). 모든 종에 대해서 CO-I의 증폭물이 확인된다. 이는 대조구 PCR로서 DNA 추출과 PCR 반응이 문제없이 이뤄졌다는 것을 나타내게 된다. 이러한 조건에서 각 종특이적 프라이머로 얻어지는 증폭물은 각 종을 확인하여 주는 진단 PCR 반응을 나타내게 된다.



**Fig. 1.** Diagnostic (DI) against five quarantine fruit flies and two domestic fruit flies. These are *Bactrocera latifrons* (Blat), *B. dorsalis* (Bdor), *B. cucurbitae* (Bcuc), *B. tryoni* (Btry), *Ceratitis capitata* (Ccap), *B. depressa* (Bdep), and *B. scutellata* (Bscu). CO-I is cytochrome oxidase subunit I.

## 제2절 대만 현지 모니터링 기술

두 종류의 유인제(ME, CL)를 왁스제형으로 제조하여 대만 타이중 지역에서 3일간 모니터링하여 과실파리 포획 유무와 포획된 과실파리의 분자 동정 결과를 보고한다. 왁스형 유인제는 Kim et al. (2017)의 방법을 따라 ME와 CL이 각각 10% 함유되게 제조하였다. 모니터링 트랩은 델타트랩(Pasukun, Yeongju, Korea)을 이용하였으며 2017년 8월 28부터 8월 31일까지 3일간 조사하였다. 모니터링 장소는 대만 타이중 중흥대학교(24.25N, 120.6E) 원예학과 실험 포장을 중심으로 서로 약 500 m 이상 떨어진 3 곳을 정하여 트랩을 설치하였다. 각 장소는 ME 트랩과 CL 트랩을 서로 약 10 m 정도 떨어뜨려 설치하였다. 포획된 성충은 Kim et al. (2017)의 방법을 따라 각각 Chelex 방식을 이용하여 전체 게놈 DNA를 추출하였다. 추출된 DNA는 ME 유인제에 유인된 오리엔탈과실파리의 경우는 진단 프라이머로 확인하였으며, CL 유인제에 유인된 과실파리는 cytochrome oxidase-I (CO-I)과 cytochrome B (CB) PCR 프라이머(Kim et al., 2017)를 이용하여 증폭시킨 후 Sanger 방식의 염기서열 분석으로 양방향 모두를 밝혀 서열을 확인하였다.

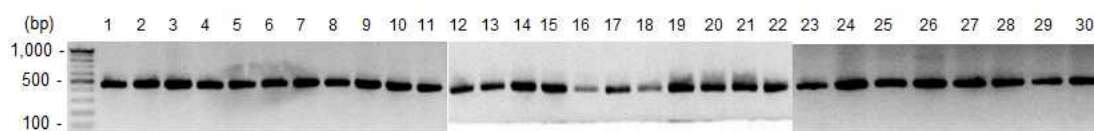
대만 현지에서 조사기간 동안 평균온도가 최저 27.0°C, 최고 32.7°C를 기록하였으며([www.accuweather.com/ko/tw/taichung-city/315040/august-weather/315040](http://www.accuweather.com/ko/tw/taichung-city/315040/august-weather/315040)), 이 조건에서 ME 왁스 제형 트랩에 매일 60-80 마리의 오리엔탈과실파리가 포획되었다(Fig. 1A 왼쪽). 이들 오리엔탈과실파리는 임의로 30 마리를 선발하여 진단 프라이머로 확인한 결과 모두 오리엔탈과실파리로 판명되었다(Fig. 1B). 반면에 CL 왁스제형은 한두 마리의 오이과실파리(*B. cucurbitae*)와 *B. tau*가 포획되었다. 이들 과실파리에 대해서 CO-I과 CB 염기서열을 대상으로 확인하였다. CL 유인제에 대한 반응성, 가슴 등판 줄무늬 그리고 날개의 반점으로 판명된 오이과실파리의 경우(Fig. 2A) CO-I 염기서열은 다른 오이과실파리와 99%의 염기서열 일치도를 나타냈다(Fig. 2B). 또한 CB 염기서열 결과는 오이과실파리에 대한 유사도가 97%로 나타나지만 다음으로 가장 유사하게 나타난 *B. tau* 종과는 불과 92% 유사도를 나타내어 포획된 종이 오이과실파리라는 것을 확인시켜주었다. 이와 유사한 분자 진단 방식으로 *B. tau* 과실파리에 대해서 분석하였다(Fig. 3). CO-I 유전자 염기서열은 기존에 알려진 *B. tau*와 99%의 유사성을 나타냈으며, CB 유전자 분석에서도 *B. tau*와 95%의 유사성을 나타내 다음으로 유사성이 높은 오이과실파리의 92% 유사도에 비해 높았다.

이상의 결과는 왁스 제형으로 제조한 ME와 CL 유인제가 현장에서 금지급의 검역 대상인 *Bactrocera* 과실파리 3 종에 대해서 유인력을 갖는다는 것을 증명하였다. 왁스 제형의 경우 야외 조건에서 현재 사용하는 솜뭉치형 유인제에 비해서 높은 지속력을 갖고 있기 때문에 연중 지속적 상시 모니터링 유인제 제형으로 사용될 수 있다. 또한 이러한 금지급 과실파리가 국내에 유입되었을 때에도 긴급 모니터링 트랩이 설치될 경우에서 높은 지속력으로 노동력을 절감시킬 수 있는 장점을 가질 수 있다.

(A)



(B)



**Fig. 1.** Field test of wax formulations to attract fruit flies. (A) Photos of caught flies with methyl eugenol (ME, left) and cuelure (right) lures (B) Molecular diagnosis of randomly-chosen 30 flies caught with wax-ME.

(A)



(B)

ATAAACTTAGGGTGTCCAAAGAATCAAATAAATGTTGGTATAAAAATAGGGTCTCCACCACCAGCCGGGT  
CGAAGAAAGAGGTGTTTAAATTTTCGGTCTGTTAAAAGTATAGTAATAGCTCCGGCTAATACAGGTAGAGA  
TAGAAGTAAAAGAAGAGCTGTCAATACTACAGCTCAAACGAATAAAGGTATCCGGTCAAATGTGATTCC  
TGTTGATCGCATATTAATTAAGTGTAGTAATGAAATTTACGGCCCCTAAAATTGATGAAAATACCAGCTAAA  
TGTAGAGAAAAAATAGCTAAATCAACTGAGGCTCCACCATGAGCGATAATTGATGAAAGGGGAGGATAA  
ACAGTTCAACCTGTACCAGCTCCGTTTTCTACTATACTGCTCACTAAAAGTAATGTAAGAGAGGGAGGTA  
AT

Species	GenBank accession number	Gene	E value	Identity	Score
<i>B. cucurbitae</i>	KU096057.1	CO-I	0.0	99%	765
<i>B. cucurbitae</i>	KC662203.1	CO-I	0.0	99%	765
<i>B. cucurbitae</i>	KC662202.1	CO-I	0.0	99%	765

(C)

TCCCTCAGAAATATATTTGTCCTCAAGGTAAACATCCTATAGTGCTGTTGCTATTACTAAAAATAGAATT  
AGTACTCCGACTAATCAAGTAGGGGTGAATAAATAGGACCCGTAATAAATACCTCGTCCAACGTGTAGGT  
AGATACAAATAAAGAAAAATGATGCTCCATTAGCATGAAGGGTTTCGTAATAATCAACCATAATTTACAT  
CACGACAAATGTGGTTTACTCTATTGAAAGCTAAATTAATATCAGCTGTATAATGTATAGCTAAGAATAA  
TCCTGTTATAATTTGAATAATTAACATATCCTAGTAAGCCGACATTTTCATCATGCTGAATGGTTGGATG  
GAGAGGA

Species	GenBank accession number	Gene	E value	Identity	Score
<i>B. cucurbitae</i>	JN635562.1	Cb	4e-154	96%	555
<i>B. cucurbitae</i>	DQ006904.1	Cb	7e-147	97%	531
<i>B. tau</i>	KP711431.1	Cb	7e-132	92%	481

**Fig. 2.** Molecular diagnosis of a fly attracted with cuelure formulated in wax. (A) Photos taken in dorsal and lateral view. (B) Its partial DNA sequence of cytochrome oxidase-I (CO-I) and identity screening against NCBI-GenBank using BlastN search engine. (C) Cytochrome B oxidase (CB) partial sequence and Blast search.

(A)



(B)

ATAGGATCCCCACCACCAGCTGGGTCTGAAGAAAGATGTATTTAAGTTTCGGTCTGTTAAAAGTATAGTAA  
TAGCTCCAGCTAATACTGGGAGAGATAGAAGTAAAAGAAGACTGTTAATACTACAGCTCAAACGAATAA  
AGGTATTCGGTCAAATGTAATCCCTGTTGATCGTATATTAATTACTGTAGTAATGAAATTTACAGCCCCT  
AAAATTGATGAAATACCAGCTAAATGTAGAGAAAAAATAGCTAAATCAACTGAGGCTCCACCATGAGCG  
ATAATTGATGAAAGGGGAGGGTAAACAGTTCACCTGTACCAGCTCCGTTTTCTACTATACTGCTCACTA  
AAAGTAATGTAAGAGAGGGAG

Species	GenBank accession number	Gene	E value	Identity	Score
<i>B. tau</i>	KT588417.1	CO-I	0.0	99%	676
<i>B. tau</i>	KT588415.1	CO-I	0.0	99%	676
<i>B. tau</i>	KT588409.1	CO-I	0.0	99%	676

(C)

TCAGAAATGAATTTGTCCTCAAGGAAAATCTATAAGCTGTTGCTATTACTAAGAGATAGAATTAGTACTC  
CTACTAATCAAGTGGGTGTGAATAAATATGAGCCGTAATAAATACCTCGTCCAACGTGTAGGTAGATACA  
AATAAAGAAAAATGATGCTCCGTTAGCGTGAAGAGTTCGTAATAATCAACCATAATTTACATCACGACA  
AATGTGGTTTTACTCTATTGAAAGCTAAATTAATATCAGCTGTATAATGTATGGCCAGGAATAATCCTGTT  
ATAATTGAATGATTAACATAGTCTAGAGACCTTGAATCATCATGCTGAGATGTTGGATGGAG

Species	GenBank accession number	Gene	E value	Identity	Score
<i>B. tau</i>	KP711431.1	Cb	8e-136	95%	494
<i>B. cucurbitae</i>	JN635562.1	Cb	7e-117	92%	431
<i>B. cucurbitae</i>	DQ006904.1	Cb	2e-116	92%	429

**Fig. 3.** Molecular diagnosis of a fly attracted with cue lure formulated in wax. (A) Photos taken in dorsal and lateral view. (B) Its partial DNA sequence of cytochrome oxidase-I (CO-I) and identity screening against NCBI-GenBank using BlastN search engine. (C) Cytochrome B oxidase (CB) partial sequence and Blast search.



### 제3절 태국 현지 모니터링 기술

#### 요약

외래 과실파리에 대한 모니터링은 검역에 필수적이다. 과실파리 유인물질을 왁스 재질로 제형화하여 비교적 장기간 모니터링 할 수 있는 기술이 금지급 과실파리 모니터링에 유효하였다. 본 연구는 이 왁스 제형의 유용성을 확장시키기 위해 금지급 과실파리가 자생하고 있는 태국 현지에 적용하였다. 포획된 개체들을 분자 동정한 결과 기존에 유인력이 입증된 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*)와 오이과실파리(*Zeugodacus cucurbitae*)는 물론이고 *Zeugodacus caudata*의 검역 과실파리가 유인된다는 것을 입증하였다.

#### 서론

과실파리는 크게 초파리과(Drosophilidae)와 과실파리과(Tephritidae)를 지칭하게 된다. 이 가운데 과실파리과는 약 4,400 종 이상의 방대한 분류군으로 적어도 500 여 속을 포함하고 있다(White and Elson-Harris, 1992). 여기에 속한 과실파리 가운데 *Bactrocera*, *Ceratitis*, *Rhagoletis*, *Anastrepha*의 4 속이 농작물에 피해를 주는 분류군으로 주목받고 있다. 특히 가장 많은 종수는 *Bactrocera*에 속하고 있으며 약 651 종이 포함되어 있다(Drew and Hancock, 2000). *Bactrocera*는 *Zeugodacus*와 함께 *Dacus* 속에 속한 아속(subgenus)이었지만 최근 분자계통기술을 통해 *Bactrocera*와 더불어 *Zeugodacus*도 개별 속으로 다시 분류되었다(Virgilio et al., 2015). 따라서 위에서 기술한 4 속에 *Zeugodacus*를 포함한 5 개 속이 과실파리 해충의 주요 분류군을 차지하게 된다.

국내에 서식하는 과실파리는 현재까지 90 종이 보고되었다(Han and Kwon, 2010; Han et al., 2014). 최근 Han et al. (2017)은 *Bactrocera hyalina*를 국내에서 최초로 발견하여 국내 서식하는 과실파리 종을 추가하였다. 이들 가운데 호박과실파리(*Zeugodacus depressa*)와 호박꽃과실파리(*Z. scutellata*) 2 종만이 해충이다. 그러나 최근 외국에 서식하는 과실파리류가 국내로 침범하는 사례가 늘고 있으며 이들 가운데 *Bactrocera* 또는 *Zeugodacus*에 속한 6 종의 검역 대상 과실파리가 침범하였으나(National Plant Quarantine Service, 2008; Animal and Plant Quarantine Agency, 2014) 어느 종도 정착하지는 못했다. 기후변화와 국제 교역량 증가는 이러한 검역 과실파리의 국내 침입의 빈도가 증가할 것으로 예견되고, 따라서 이에 대한 대책이 시급한 상황이다.

국내에 서식하지 않으면서 국내에 침입하여 정착할 경우 농작물에 큰 피해가 우려되는 금지급 과실파리가 최근 재목록화되었다(Kim et al., 2017a). 현재 농림축산검역본부에서 규정한 59 종의 금지급 검역해충 중에서 41 종이 과실파리로서 앞에서 소개한 5 속의 과실파리가 대부분이며 이 외에 *Carpomya*와 *Zonosemata* 속 과실파리가 포함되어 있다. 그러나 최근 과실파리 재분류 작업이 진행되면서 일부 서로 다른 금지급 과실파리들이 동종으로(예, *B. papayae*, *B. phillippinensis*, *B. invadens*가 모두 *B. dorsalis*) 분류된 반면에 새로운 과실파리 종들의 국내 침입 및 정착이 우려되면서 전체적으로 금지급 과실파리는 60 종으로 증가될 것으로 예상되고 있다(Kim et al., 2017a). 이에 따라 이들 다양한 금지급 과실파리 종들에 대한

모니터링 기술 개발이 요구되고 있다.

금지급 과실파리 가운데 가장 많은 종수를 차지하는 *Bactrocera*와 *Zeugodacus*에 속한 종들의 경우 수컷이 기주 식물에서 나오는 방향성 물질인 methyl eugenol (ME)과 raspberry ketone (RK)이 시노몬으로 작용하면서 유인된다(Raghu, 2004). 이러한 이유는 이들의 약물섭취행동으로 섭취된 화합물을 변형하여 성페로몬을 만들어 생식에 이용하거나 또는 방어의 목적으로 사용하게 된다(Nishida et al., 1988; Hee and Tan, 2004). RK는 화합물 말단에 아세틸기를 추가하여 야외 환경 조건에서 안정된 화합물을 이룬 큐루어(Cuelure: CL)로 상품화되었다(Metcalf and Metcalf, 1992). 따라서 ME와 CL 유인물질을 이용하여 *Bactrocera*와 *Zeugodacus*에 속한 여러 과실파리를 모니터링 할 수 있다.

유인물질을 이용하여 금지급 과실파리를 모니터링하기 위해 솜뭉치에 유인물질을 적시는 형태에서 왁스물질에 제형화하는 기술 및 젤라틴 성분에 유인물질을 섞어 제형화하는 기술까지 다양하게 개발되어 왔다(Kim and Kim, 2016). 또한 트랩의 형태에서도 델타트랩과 유사한 잭슨(Jackson)트랩 및 스타이너(Steiner)트랩이 추천되었다(Vargas et al., 2015). 국내에서는 호박꽃과실파리를 대상으로 이러한 유인제 제형화 및 효과적 트랩이 개발되어 왔다. 왁스를 이용하여 유인물질인 CL을 제형화하였고, 이를 폴리에틸렌 방출기와 비교한 결과 왁스형 방출기가 포획 능력에서 우수하였다(Kim et al., 2017b). 왁스 제형화 기술을 CL은 물론이고 ME 유인제에도 응용하여 금지급 과실파리가 발생하는 말레이시아와 대만에 적용한 결과 오리엔탈과실파리(*B. dorsalis*), 오이과실파리(*Z. cucurbitae*) 및 *B. tau*가 유인되었다(Kim et al., 2017c, 2018). 본 연구는 이 왁스 제형화 기술로 제작된 유인물질의 유인력 범위를 확대하기 위해 또 다른 과실파리가 서식할 것으로 예견되는 태국에서 모니터링하여 포획된 개체를 중심으로 이 유인제형의 적용 대상 금지급 과실파리를 파악하는 데 목표를 두었다.

## 재료 및 방법

### 유인물질 및 왁스제형화

CL과 ME 유인물질은 모두 Sigma-Aldrich Korea (Seoul, Korea)에서 구입하였다. 왁스 제형화는 Kim et al. (2017b)의 방식을 따라 제작하였다.

### 태국 현지 모니터링

과실파리 모니터링은 태국 파타야시(Pattaya: N 12.55.60, E 100.52.60) 지역에서 실시되었다. 2018년 2월 18일에 ME 또는 CL을 포함한 왁스형 방출기를 델타트랩(GreenAgrotech, Kyunsan, Korea)에 설치하고 2월 20일까지 3 일간 모니터링하였다.

### 형태분석

채집된 개체들의 분류는 가슴 순판(scutum)의 세로 띠 개수와 날개에 있는 반점(wing-spot) 개수로 대별하였다.

## DNA 추출

Chelex 방식(Kim and Kim, 2014)을 이용하여 게놈 DNA를 추출하였다. 즉, 과실파리 성충 1 마리에 500  $\mu\text{l}$ 의 20% Chelex를 채우고 95°C에서 20 분간 가온한 후 2 분간 얼음에 보관하여 반응을 정지시켰다. 이후 14,000 x  $g$ 에서 3 분간 원심분리한 후 상등액을 추출하여 PCR에 이용하였다.

## PCR 및 DNA 염기서열 분석

PCR 반응용액은 전체가 25  $\mu\text{l}$ 를 기준으로 게놈 DNA는 1  $\mu\text{l}$ , 10x 완충용액은 2.5  $\mu\text{l}$ , 기질 dNTP (각각 10 mM)는 2.5  $\mu\text{l}$ , 프라이머(10 pmol/ $\mu\text{l}$ )는 각각 2.5  $\mu\text{l}$ , Taq polymerase가 1  $\mu\text{l}$  그리고 탈이온증류수가 13  $\mu\text{l}$ 로 구성되었다. 이때 세 종류의 유전자 부분 서열이 3 종류의 프라이머 세트에 증폭되었다. Cytochrome oxidase I (CO-I) 유전자 프라이머는 5'-GTAAAACGACGGCCAGGGAGGATTTGGAAATTGATTAGTTCC-3' 과 5'-CAGGAAACAGCTATGACCCCGTAAAATTAAAATATAAACTTC-3, cytochrome b oxidase (CB)는 5'-GTAAAACGACGGCCAGCCATCCAACATCTCAGCAGCATGATGAAA-3' 과 5'-CAGGAAACAGCTATGACCCCTCAGAATGATATTTGTCCTCA-3' 그리고 NADH dehydrogenase 1 (ND1)은 5'-GTAAAACGACGGCCAGTTCTGATTCACCTTCAGC-3' 과 5'-CAGGAAACAGCTATGACAATAGTTGCTGGTTGATCTTC-3'을 이용하였다. 이들 프라이머는 각각 5'말단에 M13 범용 프라이머 서열(밑줄 친 부위)을 붙여 PCR 결과물을 바로 염기서열 분석에 이용하게 하였다. PCR 반응은 94°C에서 1 분, 58°C에서 1 분, 72°C에서 1 분의 순서로 35 회 증폭하였다. 증폭된 PCR 결과물은 Gene clean 키트(Expin<sup>TM</sup> PCR, GeneAll Biotechnology, Seoul, Korea)로 잉여 프라이머 및 PCR 완충용액을 제거하고 증류수에 녹여 Macrogen, Inc. (Seoul, Korea)에 염기서열 분석을 의뢰하였다. 이때 염기서열은 Sanger 방식으로 증폭물 양단에 붙은 M13의 범용 프라이머를 이용하였다.

## 생물정보학

염기서열 분석은 Lasergene (DNASar, Version 6.0, Madison, WI, USA)의 EditSeq 프로그램을 이용하였다. 염기서열 분석 과정 중에 불분명한 서열은 electropherogram을 확인하여 정리하였으며 최종적으로 얻어진 서열을 NCBI-GenBank ([www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov))의 BlastN 프로그램을 이용하여 상응한 종을 확인하였다. 분자계통분류는 BioEdit 7.2 프로그램(Hall, 1999)을 이용하여 각 염기서열을 정렬하였으며, MEGA 6.0 프로그램(Tamura et al., 2013)의 Neighbor-joining 방법을 이용하였다.

## 결과 및 고찰

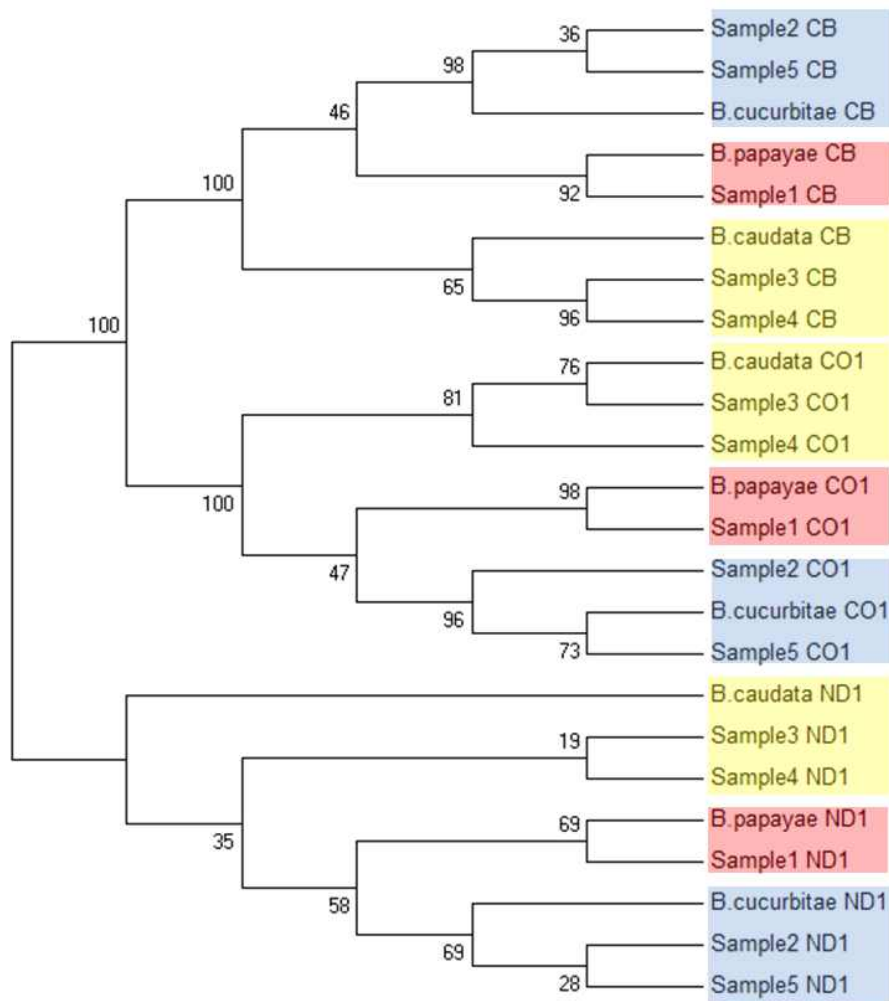
태국 현지에서 포획한 총 9 마리 개체 가운데 형태적으로 차이가 있어 보이는 5 개체를 선발하여 염기분석에 이용하였다. 염기분석은 3 종류의 미토콘드리아 유전자인 CO-I, CB 및 ND1이며 각 개체에 대한 3 종류의 염기서열들은 모두는 동일한 과실파리 종으로 생물정보 분석 결과 나타났다(Table 1). 예를 들어, #1의 시료는 ND1 서열은 오리엔탈과실파리(*B. dorsalis*)로 판명한 반면 CO-I과 CB 서열은 *B. papayae*로도 판명하였지만, 이들은 동종이명이다(Hee et al., 2015). #2와 #5 두 개체는 3 종류의 염기서열 모두 오이과실파리(*Z. cucurbitae*)로 판명하였다. 반면에 #3와 #4 두 개체는 3 종류의 염기서열 모두 *Z. caudata*로 판명하였다. 이상의 분자 동정 결과는 기존에 알려진 개별 종들의 서열과 분자계통학적으로 분석한 결과 동정된 종과 같이 군집을 이루어 동정의 신뢰도를 높여 주었다(Fig. 1). 검역현장에서 용이하게 구분하기 위한 형태 특징으로 가슴 등판의 띠 개수와 날개의 반점 수는 본 연구에서 포획하여 동정된 *Z. caudata*가 오리엔탈과실파리 및 오이과실파리와 구분되는 것을 보여주고 있다(Fig. 2).

최근 Kim et al. (2017a)은 국내 검역 대상 과실파리를 재분류하여 60 종의 금지급과 8 종의 관리급으로 나누었다. 금지급 과실파리는 다시 침입력 및 정착력 그리고 해충성에 따라 22 종의 I 급, 21 종의 II 급 그리고 17 종의 III 급 금지급 과실파리로 세분하였다. 본 연구에서 동정된 오리엔탈과실파리와 오이과실파리는 모두 I 급 금지급 검역 대상 과실파리에 속한 반면, *Z. caudata*는 관리급 과실파리로 분류하였다.











*Z. caudata* 과실파리는 구북구와 동양구 지역에 서식하며 주로 인도, 스리랑카, 미얀마, 태국, 베트남, 중국, 말레이시아 그리고 인도네시아에서 발견된다(Carroll et al., 2002). 이 과실파리는 주로 박과작물을 가해하는 것으로 추정되는 데 야외에서는 호박(*Cucurbita moschata*)에서만 발견되었다(Hardy, 1973). 형태적으로 머리 안면 홈에 존재하는 검은 가로띠, 가슴 순판(scutum)에 존재하는 2 쌍의 강모, 날개의 전연맥(costal)이 두터운 밴드 모양을 갖는 특징을 지닌다(Carroll et al., 2002). 수컷은 CL 유인물질에 유인된다. 최근 분자지표를 이용하여 남반구 지역(인도네시아-자바, 발리, Lombok)의 개체들과 북반구 지역(말레이시아 반도, 동 말레이지, 태국)을 비교한 결과 상당한 사멸 차이를 확인하여 이들이 상이한 종일 가능성을 제기하였다(Yong et al., 2015). 따라서 태국에서 채집된 *Z. caudata*는 북반구 계통으로 추정된다.

**Table 1.** Blast search of NCBI-GenBank with three mitochondrial gene sequences and species identification of five fruit flies collected from Vietnam. The used mitochondrial genes include cytochrome oxidase I (COI), cytochrome b oxidase (CB), and NADH dehydrogenase 1 (ND1).

Samples	Genes	Blasted species	Accession	Match score	E value	Identity (%)
#1	CO1	<i>Bactrocera papayae</i>	KF998798.1	780	0.0	99
		<i>Bactrocera dorsalis</i>	KF998620.1	776	0.0	99
	CB	<i>Bactrocera papayae</i>	DQ917578.1	705	2e-162	97
		<i>Bactrocera invadens</i>	KX534207.1	693	1e-159	96
	ND1	<i>Bactrocera dorsalis</i>	JF521270.1	471	6e-129	99
<i>Bactrocera dorsalis</i>		JF521266.1	471	6e-129	99	
#2	CO1	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	KC662203.1	810	0.0	99
		<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	KC662202.1	810	0.0	99
	CB	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	JN635562.1	614	6e-172	99
		<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	DQ006904.1	574	5e-160	100
	ND1	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	KJ010507.1	318	8e-83	88
<i>Zeugodacus tau</i>		MF966383.1	318	8e-83	88	
#3	CO1	<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625491.2	760	0.0	100
		<i>Zeugodacus caudata</i>	KJ833976.1	737	0.0	99
	CB	<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625491.2	610	1e-170	99
		<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625492.2	488	1e-133	92
	ND1	<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625491.2	461	8e-126	98
<i>Zeugodacus caudata</i>		AY037449.1	461	8e-126	98	
#4	CO1	<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625491.2	621	4e-174	99
		<i>Zeugodacus caudata</i>	KJ833976.1	621	4e-174	99
	CB	<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625491.2	610	1e-170	99
		<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625492.2	488	1e-134	92
	ND1	<i>Zeugodacus caudata</i>	KT625491.2	450	2e-122	97
<i>Zeugodacus caudata</i>		AY037449.1	450	2e-122	97	
#5	CO1	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	KC662203.1	917	0.0	99
		<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	KC662202.1	917	0.0	99
	CB	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	JN635562.1	614	9e-172	99
		<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	DQ006904.1	574	8e-160	100
	ND1	<i>Zeugodacus cucurbitae</i>	KJ010518.1	435	3e-118	96
<i>Bactrocera carambolae</i>		JX129510.1	435	3e-118	96	



**Fig. 1.** A phylogenetic analysis of 5 fruit flies attracted to methyl eugenol and cuelure in wax formulation. All sequences were aligned with BioEdit 7.2 program and trimmed off. The processed sequences were phylogenetically analyzed with Neighbor-joining method using MEGA 6.0 program (Tamura et al., 2013). Figures at tree nodes indicate bootstrap values obtained after 1,000 repetitions. Three clusters represent cytochrome oxidase I ('COI'), cytochrome oxidase b ('CB') and NADH dehydrogenase-1 ('ND1'). Sequences were obtained from NCBI-GenBank using accession number of JN635562.1 for *B. cucurbitae* CB, DQ917578.1 for *B. papayae* CB, KT625492.2 for *B. caudata* CB, KC662203.1 for *B. cucurbitae* CO1, KX259483.1 for *B. papayae* CO1, KT625491.2 for *B. caudata* CO1, KJ010499.1 for *B. cucurbitae* ND1, KT120000.1 for *B. papayae* ND1, AY037449.1 for *B. caudata* ND1.

Samples	Stripes on scutum		Wing-spots	
# 1		Two longitudinal stripe		Two wing-spots
# 3		Three longitudinal stripe		Two wing-spots
# 4		Three longitudinal stripe		Two wing-spots
# 2		Three longitudinal stripe		Three wing-spots
# 5		Three longitudinal stripe		Three wing-spots

**Fig. 2.** Dichotomous morphological characters in stripes on notum and stigmata on wings.

## 제4절 방글라데시 현지 모니터링 기술

### [연구요약]

금지급 과실파리에 대한 암컷유살제 효능을 분석하기 위해 방글라데시 과수 지역을 대상으로 모니터링하였다. 세 가지 유인제인 메틸유제놀(ME), 큐루어(CL) 그리고 Terpinyl acetate를 기반으로 하는 단백질유인제(TA-FAT)를 이용하여 세 지역 방글라데시에서 수행되었다. 과실파리 모니터링 장소는 방글라데시의 수도인 다카에서 북서쪽에 위치한 Nilphamari 지역에서 3개 도시인 Kanoda Kanaikata (GKK), Kisamat Kanaikata (KKK), Khalisapocha (KP)를 포함하였다. 각 지역에서는 다시 망고, 오이 및 구아바 재배지를 선택하여 조사하였다. 따라서 전체적으로 9개 과수원 지역이 6월 중순에서 7월 중순까지 진행되었다. 포획된 과실파리는 형태적으로 최소한 4종류로 구성되었다. 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*), 오이과실파리(*Zeugodacus cucurbitae*), 타우과실파리(*B. tau*) 그리고 *Dacus longicornis*를 포함하였다. 전체 지역에서 오리엔탈과실파리가 가장 우점을 차지하였다. 다음으로 오이과실파리와 타우과실파리가 뒤따랐다. *D. longicornis*는 매우 적은 밀도로 포획되었다. 지역별로 살펴보면 이러한 경향은 유사하였다. 기주별로 살펴보면 모든 기주에서 오리엔탈과실파리가 우점종이었다. 그러나 오이 기주에서는 오이과실파리가 크게 포획되어 오리엔탈과실파리와 비등하게 발생한 것으로 보인다. 유인제별로 이들 과실파리의 유인 밀도를 비교하였다. 가장 많은 포획은 ME 유인제였고, 다음으로 TA-MAT 였다. 이러한 경향은 모든 지역에서 유사하게 나타났다. 그러나 상이한 기주가 재배되는 과원에 따라 유인제 효과는 달라졌다. 오이 재배지에서는 TA-FAT과 CL 유인제의 효과가 증가되었다. 오리엔탈과실파리는 거의 모두 ME에 유인되고, 타우과실파리는 CL과 TA-FAT에 유인되었다. 오이과실파리는 TA-FAT에 가장 많이 유인되었다. *D. longicornis*는 CL에 유인되었다.

### 1. 방글라데시 지역별 과실파리 모니터링

과실파리 모니터링 장소는 방글라데시의 수도인 다카에서 북서쪽에 위치한 Nilphamari 지역에서 3개 도시인 Kanoda Kanaikata (GKK), Kisamat Kanaikata (KKK), Khalisapocha (KP)를 포함하였다. 각 지역에서는 다시 망고, 오이 및 구아바 재배지를 선택하여 조사하였다. 따라서 전체적으로 9개 과수원 지역이 6월 중순에서 7월 중순까지 진행되었다.





전체적으로 지역별 및 과수별 포획된 과실파리 포획 밀도는 다음과 같다.

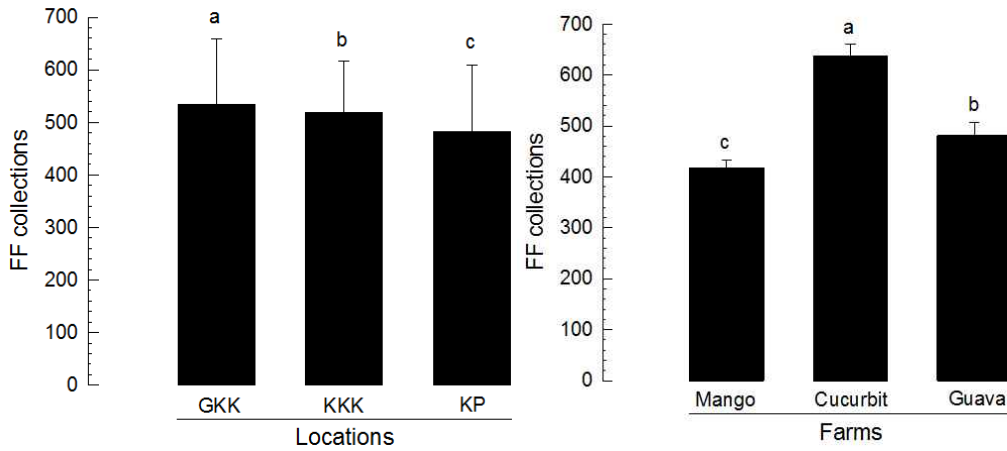






그림 1. 방글라데시 조사 지역에서 포획 과실파리 밀도

포획된 과실파리는 형태적으로 최소한 4 종류로 구성되었다. 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*), 오이과실파리(*Zeugodacus cucurbitae*), 타우과실파리(*B. tau*) 그리고 *Dacus longicirnis* 를 포함하였다.

(A)

Sample	Fruit flies	Gene	Best blast match	Accession number	Match score	E value	Identity
S1		CO1	<i>Bactrocera papaya</i>	KF998798.1	935	0.0	99 %
			<i>Bactrocera dorsalis</i>	KF998709.1	935	0.0	99 %
			<i>Bactrocera dorsalis</i>	KF318575.1	935	0.0	99 %
		CB	<i>Bactrocera papaya</i>	DQ917578.1	508	4e-140	97 %
			<i>Bactrocera invadens</i>	KX534207.1	497	9e-137	96 %
			<i>Bactrocera dorsalis</i>	DQ845759.1	497	9e-137	96 %
		ND1	<i>Bactrocera dorsalis</i>	KT119988.1	604	5e-169	97 %
			<i>Bactrocera dorsalis</i>	KT119973.1	604	5e-169	97 %
			<i>Bactrocera dorsalis</i>	KT119967.1	604	5e-169	97 %
S2		CO1	<i>Bactrocera cucurbitae</i>	DQ116243.1	1000	0.0	99 %
			<i>Bactrocera cucurbitae</i>	DQ116244.1	989	0.0	99 %
			<i>Bactrocera tau</i>	KJ753947.1	977	0.0	98 %
		CB	<i>Bactrocera cucurbitae</i>	JN635562.1	582	2e-162	98 %
			<i>Bactrocera cucurbitae</i>	DQ006904.1	547	8e-152	98 %
			<i>Zeugodacus tau</i>	MF966384.1	514	9e-142	96 %
		ND1	<i>Zeugodacus tau</i>	MF966383.1	451	4e-123	99 %
			<i>Zeugodacus tau</i>	MF966384.1	446	2e-121	99 %
			<i>Bactrocera cucurbitae</i>	KJ010499.1	424	9e-115	97 %
S3		CO1	<i>Zeugodacus tau</i>	MF966383.1	944	0.0 418	99 %
			<i>Bactrocera tau</i>	KP711431.1	933	0.0	99 %
			<i>Bactrocera tau</i>	FJ903492.1	917	0.0	98 %
		CB	<i>Zeugodacus scutellatus</i>	MF358969.1	614	7e-172	98 %
			<i>Bactrocera scutellata</i>	KT159731.1	614	7e-172	98 %
			<i>Bactrocera scutellata</i>	KP722192.1	614	7e-172	98 %
		ND1	<i>Zeugodacus tau</i>	MF966383.1	370	1e-98	98 %
			<i>Zeugodacus tau</i>	MF966384.1	364	7e-97	98 %
			<i>Bactrocera tau</i>	AY037477.1	364	7e-97	97 %
S4		CO1	<i>Dacus longicornis</i>	KX345846.1	887	0.0	98 %
			<i>Dacus longicornis</i>	GQ154302.1	760	0.0	99 %
			<i>Dacus axanus</i>	JQ671148.1	634	8e-178	90 %
		CB	<i>Zeugodacus scutellata</i>	MF358969.1	520	1e-143	99 %
			<i>Bactrocera scutellata</i>	KT159731.1	520	1e-143	99 %
			<i>Bactrocera scutellata</i>	KP722192.1	520	1e-143	99 %
		ND1	<i>Zeugodacus tau</i>	MF966383.1	418	5e-113	97 %
			<i>Bactrocera signata</i>	AY037448.1	418	5e-113	96 %
			<i>Zeugodacus tau</i>	MF966384.1	412	2e-111	96 %

(B)

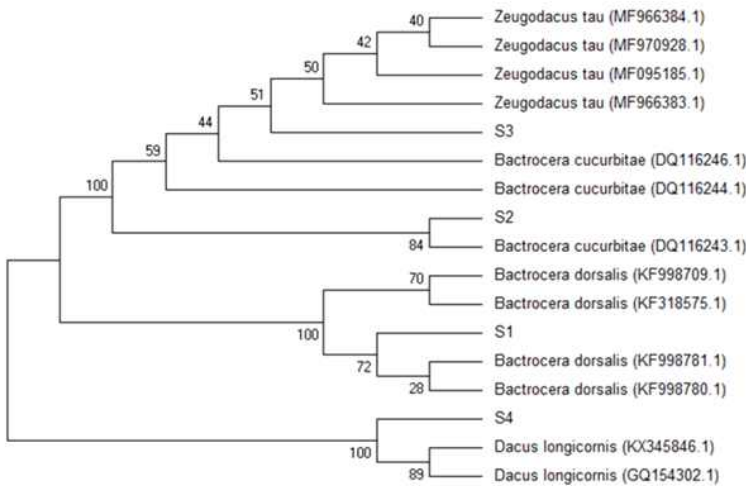


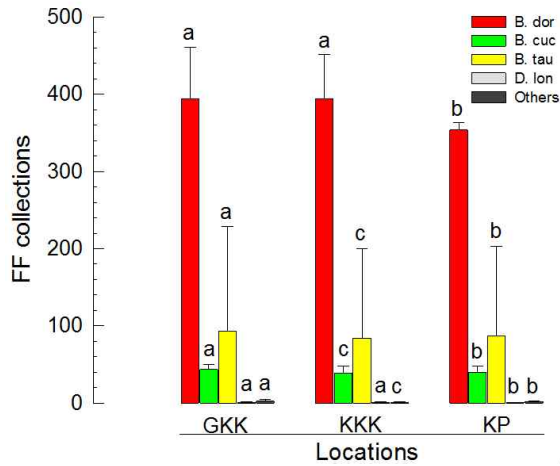
그림 2. 방글라데시 포획 과실파리 분자 동정 결과

## 2. 방글라데시 과실파리의 지역 및 기주별 차이

이들 과실파리가 포획된 장소와 기주 식물별로 다음과 같았다. 전체 지역에서 오리엔탈과실파리가 가장 우점을 차지하였다. 다음으로 오이과실파리와 타우과실파리가 뒤따랐다. *D.*

*longicornis*는 매우 적은 밀도로 포획되었다. 지역별로 살펴보면 이러한 경향은 유사하였다. 기주별로 살펴보면 모든 기주에서 오리엔탈과실파리가 우점종이었다. 그러나 오이 기주에서는 오이과실파리가 크게 포획되어 오리엔탈과실파리와 비등하게 발생한 것으로 보인다.

(A)



(B)

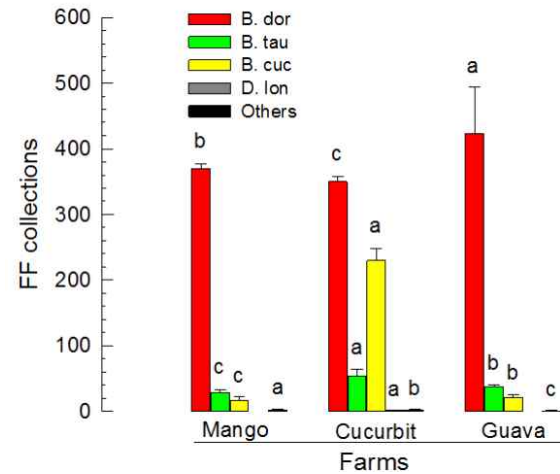


그림 3. 방글라데시의 지역 및 기주별 과실파리 종류 및 포획 밀도

### 3. 방글라데시 과실파리의 유인물질에 따른 차이

유인제별로 이들 과실파리의 유인 밀도를 비교하였다. 가장 많은 포획은 ME 유인제이었고, 다음으로 TA-MAT 였다. 이러한 경향은 모든 지역에서 유사하게 나타났다. 그러나 상이한 기주가 재배되는 과원에 따라 유인제 효과는 달라졌다. 오이 재배지에서는 TA-FAT과 CL 유인제의 효과가 증가되었다.

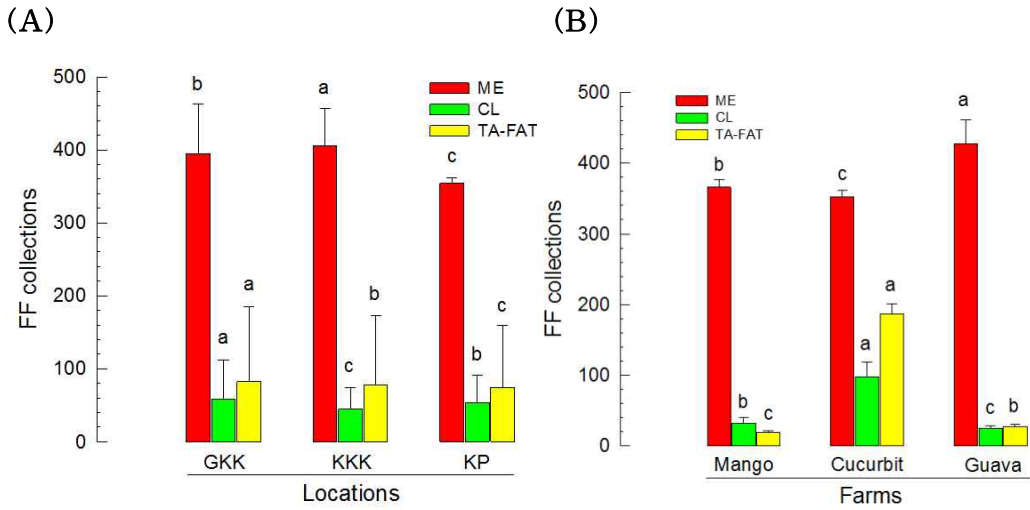


그림 4. 유인물질에 따른 과실파리 포획 밀도

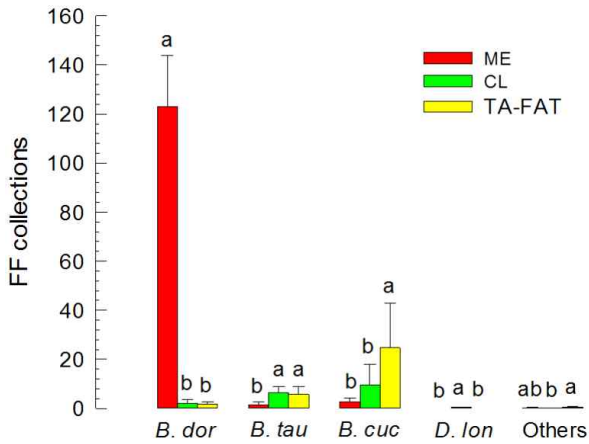


그림 5. 유인물질에 따른 과실파리 종류

오리엔탈과실파리는 거의 모두 ME에 유인되고, 타우과실파리는 CL과 TA-FAT에 유인되었다. 오이과실파리는 TA-FAT에 가장 많이 유인되었다. *D. longicornis* 는 CL에 유인되었다.

## 제5절 오리엔탈과실파리 국내 월동 가능 기작

### [연구요약]

대만 현지에서 오리엔탈과실파리를 대상으로 내한성 분석이 실시되었다. 체내빙결점은  $-8.28^{\circ}\text{C}$ 에서  $-13.35^{\circ}\text{C}$ 까지 다양했다. 특별히 번데기의 체내빙결점이 가장 낮았다. 이러한 저온한계온도는 미리  $9^{\circ}\text{C}$ 의 비교적 높은 저온에 2 시간 노출되면 현격하게 낮아졌다. 이때 번데기는  $-16.6^{\circ}\text{C}$ 에서 체내빙결점을 나타냈다. 성충의 경우 체내빙결점이  $-10^{\circ}\text{C}$  이하에서 나타났지만  $-5^{\circ}\text{C}$ 에서 1.5 시간 노출하면 거의 10% 미만의 생존율을 나타냈다. 그러나  $9^{\circ}\text{C}$ 에서 미리 노출시키는 저온 전처리를 하는 경우 내한성은 현격하게 증가하였다. 저온 전처리의 시간은 2 시간이면 충분하였다. 이러한 급속내한성유기(rapid cold-hardening: RCH)는 분자 센서인 CaMKII와 내한성 증가로 이어지는 HSP 유전자 발현 증가와 생리적 연관성을 보였다.

### 1. 오리엔탈과실파리 체내빙결점

매년 국내에서 발견되는 오리엔탈과실파리는 주로 동남아시아에서 국내로 들어오는 여행객들의 소지 식품에서 유래되는 것으로 이해되고 있다. 그러나 작년에 제주도 서귀포에서 발견된 오리엔탈과실파리는 이전에 발견된 지점과 유사하여 그 동안 제기된 서귀포 지역에서 오리엔탈과실파리의 월동 가능성을 다시 제기하였다. 중국에서는 북위 31도를 오리엔탈과실파리의 북방한계선으로 이해하여 오고 있다. 따라서 서귀포가 북위 34도에 위치하기에 노지에서 월동하기는 어려울 것으로 보고 있다. 그러나 매년 남쪽에서 월동한 과실파리류가 북쪽으로 이주하여 과실을 가해하고 있어 과실피해 지역은 월동 한계를 넘어 서고 있다. 더욱이 일부 개체군의 경우는 내한성을 발달시켜 월동한계를 북상시키고 있다. 국내 지역을 살펴보면, 증가하는 국제농산물 교역량과 여행자 수의 증가는 지속적 오리엔탈과실파리의 발견이 있었다. 여기에 서귀포 지역의 비교적 온난한 겨울철 온도와 광범위하게 설치된 비닐하우스는 이 해충이 겨울 지낼 수 있는 천혜의 장소로 여겨질 수 있다. 이에 오리엔탈과실파리의 내한성에 대한 정밀 분석이 필요했고, 본 연구는 대만 현지에 가서 연구를 진행했다.

대만 국립중흥대학교 곤충학과 황소위 교수 연구실에서 누대 사육하고 있는 오리엔탈과실파리를 대상으로 다양한 발육태의 체내빙결점(supercooling point: SCP)를 측정하였다. 체내빙결점은  $-8.28^{\circ}\text{C}$ 에서  $-13.35^{\circ}\text{C}$ 까지 다양했다. 특별히 번데기의 체내빙결점이 가장 낮았다. 이러한 저온한계온도는 미리  $9^{\circ}\text{C}$ 의 비교적 높은 저온에 2 시간 노출되면 현격하게 낮아졌다. 이때 번데기는  $-16.6^{\circ}\text{C}$ 에서 체내빙결점을 나타냈다. 이는 오리엔탈과실파리가 낮은 온도로 환경변화에 따라 적응하는 저온순화가 가능하다는 것을 제시하고 있다. 또한 번데기로 국내 토양에서 월동하는 경우 충분히 체내빙결을 막으면서 생존할 수 있다는 의미로 해석된다.

### 2. 오리엔탈과실파리 급속내한성유기

성충의 경우 체내빙결점이  $-10^{\circ}\text{C}$  이하에서 나타났지만  $-5^{\circ}\text{C}$ 에서 1.5 시간 노출하면 거의 10% 미만의 생존율을 나타냈다. 그러나  $9^{\circ}\text{C}$ 에서 미리 노출시키는 저온 전처리를 하는 경우 내한성은 현격하게 증가하였다. 저온 전처리의 시간은 2 시간이면 충분하였다. 이러한 급속내한

성유기(rapid cold-hardening: RCH)는 오리엔탈과실파리 체내에서 생리적 변화를 유발하는 데 필요한 최소한의 시간을 반영하고 있다. 이 기간 동안 체내에서는 저온 피해를 막기 위한 생체막 변화, 스트레스단백질 발현 및 내동결물질의 생성 등이 유발될 수 있다. 이러한 과정은 세포 자율적으로 유기될 수 있고, 여기에 CaMKII (camodulin-dependent protein kinase II)가 중심적 역할을 담당할 수 있다. 오리엔탈과실파리의 CaMKII가 GenBank를 통해 염기서열을 얻었고, 이를 기반으로 추정 아미노산 서열을 통해 단백질 영역이 분석되었다. 특별히 오리엔탈과실파리의 CaMKII는 인체의 베타 이성체와 유사도가 높았다. CaMKII는 다양한 효소의 활성을 조절하였을 것이고 이는 생체막 변화, 스트레스단백질 발현 및 내동결물질 합성 등을 유도하였을 것으로 사려된다. 이 가운데 열충격단백질(heat shock protein: HSP)이 분석되었고, RCH는 여러 HSP의 발현을 증가시켰다.



**그림 1.** 오리엔탈과실파리(*B. dorsalis*) 체내빙결점(supercooling point: SCP). 'CON'은 실내온도에서 사육하던 곤충을 바로 SCP 측정에 사용한 것이다. 'ACC'는 SCP 측정 전에 9°C에서 2시간 동안 노출한 후에 측정한 것이다. 각 측정치는 최소 5 개체 이상을 분석하였고, 본 그림은 평균 온도를 나타내고 있다.

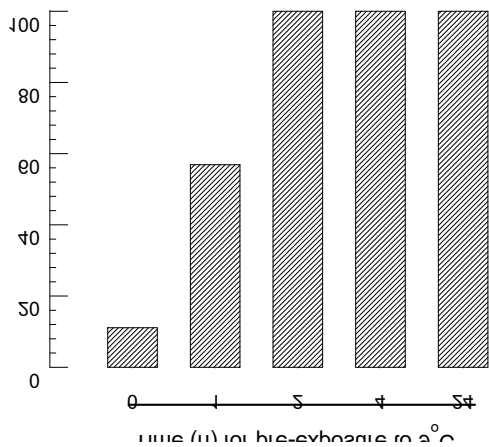


그림 2. 오리엔탈과실파리(*B. dorsalis*) 급속내한성유기(rapid cold-hardening: RCH). 성충을 대상으로 9°C에서 시간별로 미리 노출시킨 후 -5°C에서 1.5 시간 저온 처리하였다. 이후 25°C에서 2 시간 방치한 후 생존한 개체수를 통해 저온생존율을 산출하였다. 각 처리는 3 반복으로 각 반복은 30 마리가 포함되었다. 사진은 저온 전처리가 없는 대조구(CON)와 2 시간 저온 전처리(ACC) 후 -5°C 저온 처리 및 상온 2 시간 방치 후 모습이다.

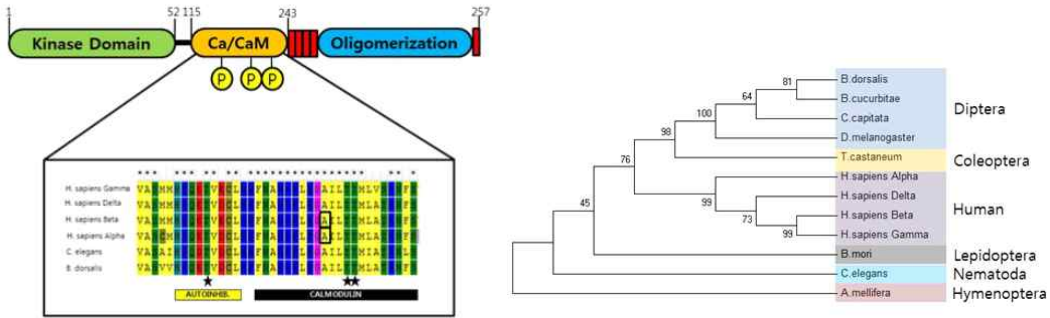


그림 3. 오리엔탈과실파리(*B. dorsalis*)의 calmodulin-dependent protein kinase II (CaMKII)의 분자 구조와 분자계통 분류

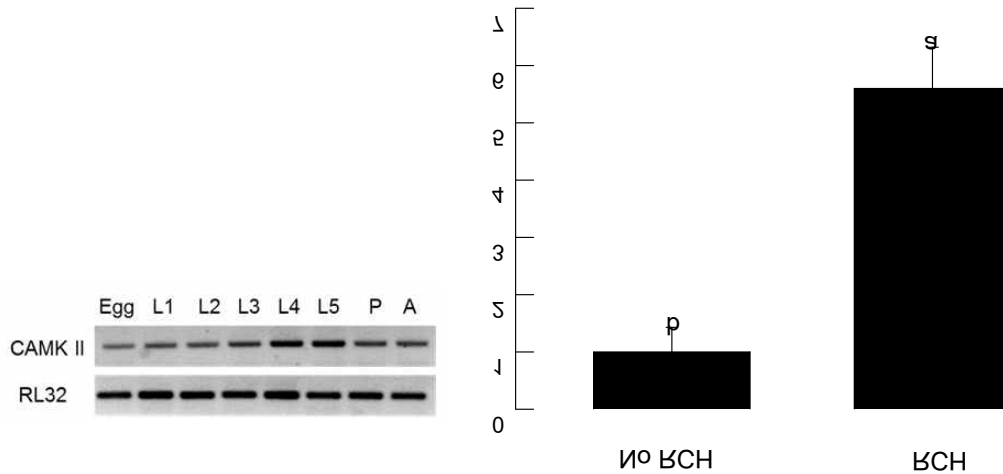
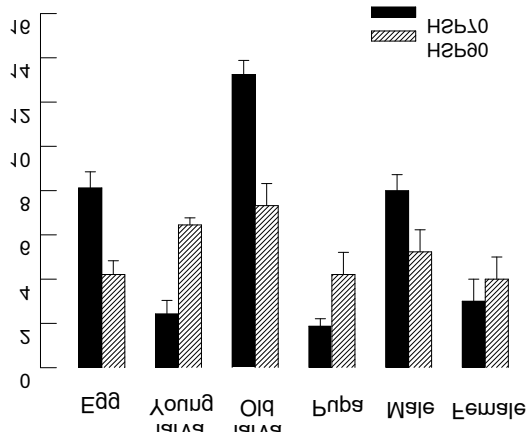


그림. CaMKII의 발현과 급속내한성유기

이 CaMKII의 유전자 발현이 모든 발육태의 오리엔탈과실파리에서 나타났다. RCH 처리는 CaMKII의 발현을 5 배 이상 증가시켰다. CaMKII의 하위 발현 유전자로서 여러 스트레스 단백질의 발현을 분석하였다. 먼저 기존에 온도 스트레스에 대해서 민감하게 반응한다고 보고된 2 가지(HSP70, HSP90) 열충격단백질의 발현을 분석하였다.

(A)



(B)

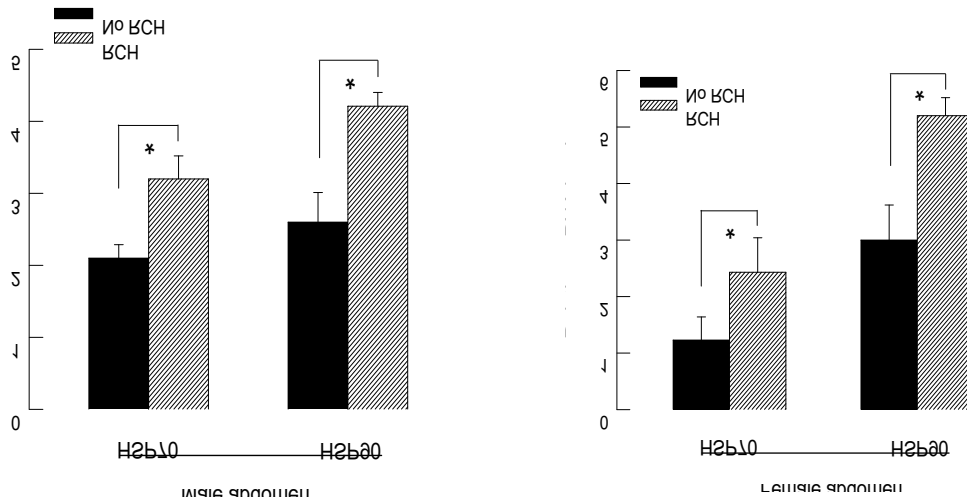


그림 4. 오리엔탈과실파리(*B. dorsalis*) 급속내한성유기와 열충격단백질 발현 증가

이들 두 가지 HSP 단백질은 모두 전체 발육태에서 발현되었다. HSP70은 발육시기별로 발현량의 큰 차이를 나타냈다( $F = 107.13$ ;  $df = 5,12$ ;  $P < 0.0001$ ). 특별히 노숙 유충의 발현량이 가장 높았다. HSP90도 발육시기별로 발현량의 차이를 나타냈다( $F = 7.35$ ;  $df = 5,12$ ;  $P = 0.0023$ ). 여기에서도 노숙 유충의 발현량이 높았다. 급속내한성유기를 알아보기 위해  $9^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 처리하면 두 가지 열충격단백질의 발현량은 모두 증가하였다.



# 제9장 유인제 왁스형 제형 개발 및 수컷유살제 개발

## 1. 연구요약

호박꽃과실파리(*Bactrocera scutellata*)는 호박꽃을 가해하는 해충이다. 이들 수컷은 식물체 유래물질인 raspberry ketone (RK)에 유인되어 섭식하는 습성을 지니고 있다. 본 연구는 이 해충의 방제를 위해 수컷박멸기술(male annihilation technique: MAT)을 개발하는 데 목표를 두고 이를 위한 기반 기술을 탐색하였다. 효과적 유인 물질이 실내 및 실외 실험을 통해 비교되었다. 일반적으로 과실파리류에 유인효과가 높은 methyl eugenol에 호박꽃과실파리 암수는 모두 반응하였으나 야외에서는 전혀 유인효과가 나타나지 않았다. RK의 합성 유도체인 cuelure (CL)에 호박꽃과실파리 수컷은 실내 및 야외조건에서 모두 높은 유인효과를 나타냈다. 그러나 본 연구에서 지향하는 왁스형 방출기 조건에서 RK가 CL에 비해 동등하거나 우수한 유인효과를 보였다. MAT를 구성하는 데 유인 물질과 함께 포함될 살충제를 피레스로이드 살충제로 선발하였다. 또한 MAT 처리 후 치사된 개체의 확인과 계수를 위해 깔때기형 트랩을 선발하였다. 이러한 결과를 종합하여 본 연구는 호박꽃과실파리의 MAT 기술은 RK과 비펜스린을 담은 왁스형 방출기로 결정하고 이를 깔때기트랩에 설치하도록 구성하였다. 이러한 기본 조건은 추후 현장 적용할 MAT 기술 개발에 기반 정보로 이용될 수 있다.

## 2. 재료 및 방법

**공시충.** 본 연구에 사용된 곤충은 모두 야외충으로 구성되었다. 채집지는 경북 안동시의 호박밭이 두 군데로서 호박밭A는 안동시 북후면 대현리(북위 36.69 동경 128.74), 호박밭B는 안동시 남선면 기느리(북위 36.53 동경 128.77)에 소재한다. 반면에 제주시 아라동에 속한 호박밭(북위 33.44 동경 126.57)은 또한 주변에 노랑하늘타리(*Trichosanthes kirilowii* var. *japonica* Kitam)가 자생하였다. Y튜브 및 풍동실험에 사용한 공시충은 모두 호박밭A에서 채집된 호박꽃과실파리를 이용하였다.

**Cytochrome oxidase I (CO-I) 염기서열 분석.** 안동시 호박밭A에서 채집된 호박꽃과실파리의 종 동정 확인을 위해서 CO-I 서열을 분석하였다. 호박에 피해를 주고 있는 유충에서 DNA를 추출하였다. DNA 추출은 Kim et al. (2016)의 방법에 따라 페놀을 이용하였다. 추출된 DNA를 50 배 희석하여 PCR 반응에 이용하였다. PCR 조건은 94°C에서 1 분, 50°C에서 1 분, 72°C에서 1 분의 연속반응을 35회 반복하여 목표 CO-I 유전자 부위를 증폭하였다. 반응에 이용된 프라이머의 서열은 미토콘드리아 보존 서열(Simon et al., 1994)을 중심으로 제작된 C1-N-2191 (5'-CCCGGTAAAATTTAAAATATAAACTTC-3')과 C1-J-1751 (5'-GGATCACCTGATATAGCATTC-3')을 이용하였다. PCR 증폭물은 프라이머를 제거하고 염기서열 분석에 이용하였다. 염기서열 분석은 Macrogen Inc. (Seoul, Korea)에서 양방향으로 실시되었다. 얻어진 서열은 Lasergene version 7.1 (DNASTAR, Madison, WI, USA)의 SeqMag 프로그램을 이용하여 불완전한 서열을 제거한 CO-I 영역을 얻었다. 이 염기서열을 NCBI (www.ncbi.nlm.gov)의 GenBank의 BlastN 프로그램을 이용하여 유사성이 높은 CO-I 유전자를 탐색하여 상응한 종을 추적하였다.

**Y 튜브 행동 분석.** Y 튜브 기기의 구성과 분석 방법은 Kim et al. (2015)에 기술되었다. 간략하게 유리 재질의 Y 튜브는 3 cm 내부 직경으로, 양쪽 팔의 길이는 16 cm이고 서로 45°의 각도로 벌려져 있으며, 공통관의 길이는 13 cm로 구성되었다. 행동 분석 동안 질소 가스가 양쪽 팔로 연결되어 공통관을 통해 빠져나가게 하였다. 투입되는 질소 가스는 물이 반쯤 차있는 병을 통과하고, 분석물질을 넣은 고무격막(Chemglass life sciences, NJ, USA)을 담아놓을 또 다른 병을 통하여 Y 튜브의 양쪽 팔로 들어가게 하여 습도를 유지하게 하였다. 주입 질소 가스의 속도는 300 mL/min으로 설정했다. 단일반응 실험의 경우는 대조구는 헥산 용액(EMD Millipore corporation, MA, USA), 처리구는 유인 물질(200 mg/mL)을 각각 50 µL씩 처리하였다. 두 물질을 선택하는 반응 실험에서는 대조구와 처리구에 각각 비교 물질을 놓았다. 처리될 호박꽃과실과리는 성충은 호박밭A에서 채집된 것으로 공통관 기부에 놓고 10 분간 움직이는 방향으로 결과를 얻었다. 이때 출발점으로 부터 분지점까지 움직인 개체를 반응한 개체로 규정하였으며, 분지점을 지나 어느 한쪽으로 움직인 개체는 분지점으로부터 12 cm 움직인 개체를 특정 처리를 선호한 개체로 판명하였다. 각 처리는 개체를 실험단위로 5 회 반복 실험하였다. 처리 후 Y 튜브는 95.5% 아세톤으로 세척하고, 이를 다시 99% 헥산으로 재세척을 실시하였다. 끝으로 물로 행군 후 건조시켜 다음 실험에 이용하였다.

**풍동실험.** 풍동실험은 길이 160 cm, 폭 60 cm, 높이 60 cm의 wind tunnel 장치(DS 140-60 TAC 250 w, Noldus, Wageningen, Netherland)를 이용하였다. 바람의 속도는 초당 17 cm로 일정하게 유지한 상태에서 목표지점에 고무격막 안에 분석할 유인 물질을 처리하였다. 유인 물질은 200 mg/mL의 농도로 50 µL를 투입하였다. 풍동장치의 출발점에 호박꽃과실과리를 넣고 30 분간 움직인 개체를 관찰하였다. 이때 출발점에서 목표물까지 전체 길이에 1/3 만큼 움직이면 이륙비행(Initial flight), 2/3 만큼 움직이면 방향비행(Directional flight) 그리고 목표물에 도착한 개체를 목표비행(Target flight)로 나누어 평가하였다. 각 처리는 5 반복으로 실시되었다.

**후보 유인제 조제.** 세 가지 수컷 유인 물질 본 연구에서 생물검정되었다. 이들은 methyl eugenol (ME; 4-allyl-1,2-dimethoxybenzene-carboxylate), cuelure (CL; 4-(*p*-acetoxyphenyl)-2-butanone) 그리고 raspberry ketone (4-(*p*-hydroxyphenyl)-2-butanone)을 포함하였다. 이들은 모두 Sigma-Aldrich Korea (Seoul, Korea)에서 구입하였다. RK와 ME는 디클로메탄(CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, EMD Millipore corporation, MA, USA)의 유기용매로 처리 농도로 희석하여 사용하였고, CL는 아세톤으로 처리 농도로 희석하여 사용하였다.

단백질 먹이원으로 유인효과를 검정하였다. 이때 단백질 유인 물질 조성은 250 g의 이스트 추출물(BioShop, Burlington, Canada), 750 g의 설탕(CJ, Incheon, Korea) 그리고 1 g의 spinosad 입제(부메랑®, Dongbang Agro, Seoul, Korea)를 혼합하여 사용하였다.

**왁스형 방출기 제조.** 앞에서 기술한 세 가지 서로 다른 유인 물질 함유된 왁스형 방출기 제작과정은 다음과 같다. 우선 파라핀왁스(15 g, EMD Millipore Corporation, MA, USA)를 가열자석교반기에서 약 70°C에서 용해시킨 후 300 rpm 속도로 용해된 왁스를 고르게 만들었다. 이때 유화제(3 g, Emulsifier, Almax 3600, Illshinwells, Seoul, Korea)를 첨가하면서 회전 속도를 500 rpm으로 증가시켰다. 유화제가 고르게 혼합되면 향산화물질인 α-tocopherol (0.5 g, Sigma-Aldrich Korea), Jojoba oil (0.5 g, Sigma-Aldrich Korea)을 첨가시켰다. 여기서 RK, ME의 경우 5 g을 디클로메탄 10 mL로 용해시켜 첨가하였고, CL의 경우 500 mg을 아세톤 2 mL로 용해시켜 첨가하였다. 마지막으로 살충제(0.5 g)를 아세톤 1 mL로 용해시켜 첨가하였다.

모든 성분이 용해된 후 탈이온증류수를 RK과 ME의 경우 24.5 mL을 넣었고, CL 경우 29 mL을 넣어 1,000 rpm에서 10 분간 교반하였다. 이를 상온에서 서서히 식힌 후 사용 전 까지 냉장(4°C) 보관하였다.

**Polyethylene (PE) 방출기 제조.** PE 방출기(ACE Counsulting, Andong, Korea) 내부에 100 mg의 유인물질을 채우고 야외 유인효과를 검정하는 데 이용하였다. PE 방출기(3.1 x 8.1 cm)의 구성은 내부는 다시 소형 플라스틱 통(1 x 3.5 cm)이 있고, 이 내부에 원통형 필터(0.5 x 2.5 cm)를 포함했다. 이 원통형 필터에 유인물질을 채우기 때문에 액체 상태의 유인 물질 외부 PE 벽에 직접 노출은 없고, 내부 통에 담겨 기화되고 가스 상태의 유인 물질 PE 재질의 방출기를 통해 외부로 방출되는 기법으로 제작되었다.

**MAT용 유효 유인제 선정 포장시험.** 야외 조건에서 유인제 선정은 안동시 호박밭 두 군데에서 이뤄졌다. 호박밭A에서는 황색끈끈이 트랩(Green Agrotech, Kyungsan, Korea), 단백질 먹이원이 담긴 지중해과실파리 유인트랩(Med: Pherobank, Wijk bij Duurstede, Netherland)과 맥패일트랩(McP: Pherobank), 그리고 수컷유인제인 ME, RK, CL가 장착된 델타트랩을 배치하였다. 비교 모니터링은 7월 18일에서 8월 29일까지 매주 1 회씩 조사하여 트랩 당 평균 마리수로 산출하여 비교하였다. 호박밭B에서는 위의 Med, McP, ME, RK, CL의 트랩이 8월 19일에서 9월 9일까지 매주 1 회씩 4 주간 조사하여 포획 총 마리수로 비교하였다.

**MAT용 트랩 유형 선정 포장시험.** 델타트랩(Pasukun, Youngju, Korea), 왕트랩(Gaia, Suweon, Korea), Med 트랩(Pherobank, Wijk bij Duurstede, Netherland), 갈때기트랩(Green Agrotech)의 네 가지 서로 다른 트랩이 호박꽃과실파리의 포획 능력 비교에 분석되었다. 유인 물질 RK을 이용하였으며, 이를 왁스형 방출기에 제제화하여 각 트랩에 약 100 mg이 채워지도록 설치하였다. 또한 방출기에는 200 ppm의 spinosad (80% 원제, Dow AgroSciences, Indianapolis, IN, USA)의 살충제가 포함되었다. 트랩들의 포획능력은 제주도 호박밭에서 실시되었다. 트랩의 배치는 난괴법 3 반복으로 8월 24일에서 8월 26일까지 2 일 동안 포획된 밀도를 일별 평균 밀도로 환산한 후 분산분석을 통해 트랩 효율을 비교하였다.

**MAT용 살충제 선정 포장시험.** 왁스형 방출기를 기준으로 세 가지 서로 다른 살충제를 집적하여 갈때기트랩에 포획되는 호박꽃과실파리의 밀도로 비교하였다. 비교 분석된 살충제는 스피노사드(spinosad: SPS), 비펜스린(bifenthrin: BFN) 그리고 생물농약(BIO, 응칠이®, KoreaBio, Suweon, Korea)이 이용되었다. 두 원제인 spinosad와 bifenthrin은 200 ppm으로 처리하고, 제형화된 BIO는 2,000 ppm으로 처리하였다. 상이한 살충제들에 의한 포획능력은 제주도 호박밭에서 실시되었다. 트랩의 배치는 난괴법 3 반복으로 8월 24일에서 8월 26일까지 2 일 동안 포획된 밀도를 일별 평균 밀도로 환산한 후 분산분석을 통해 트랩 효율을 비교하였다.

**통계분석.** 백분율 자료는 arcsin 수치변환을 통해 분산분석에 이용되었다. 분산분석은 SAS 프로그램(SAS Inc., 1989)의 PROC GLM을 이용하였다.

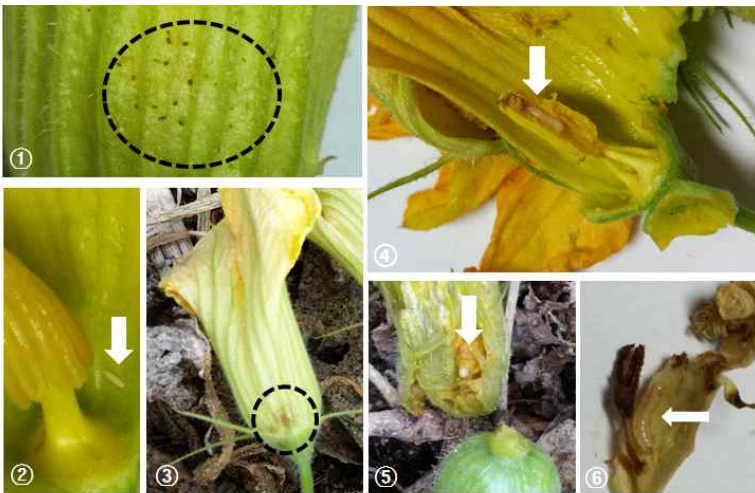
### 3. 결과

#### 호박꽃과실파리의 동정

호박꽃과실파리가 발생하는 안동지역의 호박밭A에서 호박의 화관에 산란흔을 관찰하였다 (Fig. 1). 유사한 피해흔이 제주도에 서식하는 노랑하늘타리에서도 관찰되었다. 이러한 산란흔을 가진 꽃을 절개하면 내부에 성장하는 유충을 발견하였다. 호박꽃과실파리의 피해를 받은 호

박꽃은 암수 모두에서 발견되었다.

안동에서 채집된 호박꽃과실파리의 게놈 DNA를 추출하여 CO-I 영역의 염기서열을 판독하였다(Table 1). CO-I의 5'쪽 일부분인 447 bp의 염기서열은 GenBank에 수록된 다른 호박꽃과실파리와 100% 일치하였다. *Bactrocera* 속에 속한 유사한 종들 가운데 *B. proprediaphora*와 가장 가까운 것으로 나타났으나 유사도(Identity = 93%)에서 큰 차이를 나타냈다. 이는 안동에서 채집된 호박꽃과실파리의 종 동정을 재확인하여 주었다.



**Fig. 1.** Damage by *B. scutellata* on a crop pumpkin (*Cucurbita moschata*). External oviposition symptoms (dotted circle) on pumpkin flower (①). Laid egg (arrow) inside flower (②). External damage symptom (dotted circle, ③). Internal damage symptoms (arrow) on pumpkin male (④) and female (arrow, ⑤) flowers and on a wild pumpkin (*Trichosanthes kirilowii* var. *japonica*) (arrow, ⑥).

**Table 1.** Blast search of a partial sequence (447 bp) of cytochrome c oxidase subunit I (CO-I) of *Bactrocera scutellata* Andong (GenBank accession number = KX812751)

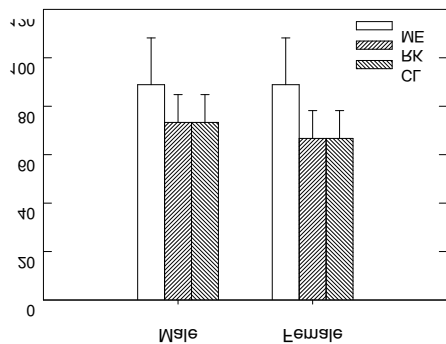
Species	GenBank accession number	Score (bits)	Identity (%)	Gap (%)	E value
<i>B. scutellata</i>	KT159731.1	826	100	0	0.0
<i>B. proprediaphora</i>	KM024428.1	654	93	0	0.0
<i>B. scutellaris</i>	KF660082.1	649	93	0	0.0
<i>B. apicinigra</i>	KF659950.1	649	93	0	0.0
<i>B. caudata</i>	KT625492.2	632	92	0	2e-177
<i>B. guangxiana</i>	KM024424.1	632	92	0	2e-177
<i>B. yoshimotoi</i>	KF660199.1	632	92	0	2e-177

#### 호박꽃과실파리 성충의 유인행동 분석

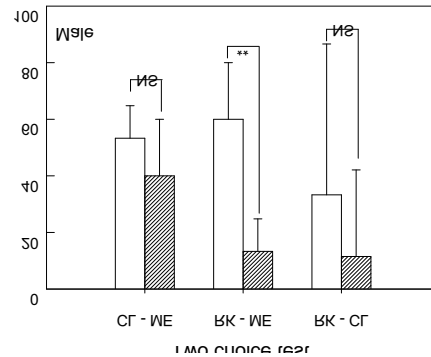
MAT 방제 기술의 핵심은 수컷 성충 유인 물질이다. 호박꽃과실파리는 Cuelure (CL) 유인 물질에 의해 유인된다고 보고되었다(Miyatake et al., 2000; Kim et al., 2010). CL과 유사한 자

연계 물질이 raspberry ketone (RK)이고, 더불어 methyl eugenol (ME)은 많은 *Bactrocera* 속에 속한 곤충들을 유인한다(Cunningham, 1989). 이들 세 가지 물질을 대상으로 호박꽃과실과리의 유인 반응을 Y 튜브로 분석하였다(Fig. 2). 우선 단일물질로 처리한 경우 무처리에 비해 호박꽃과실과리 암수 모두는 이들 세 유인 물질 양성 반응을 보였다(Fig. 2A). 다시 Y 튜브를 이용하여 두 물질의 선택적 조건 속에 반응을 시킨 결과, 암수 모두는 ME에 비해 RK에 대해서 뚜렷한 선택성을 나타냈다(Fig. 2B). 그러나 다른 두 조합에서는 선택성을 보여주지 못했다. 풍동실험을 통해 이들 유인 물질 대한 호박꽃과실과리의 유인성을 분석한 결과(Fig. 2C), ME은 무처리와 같이 전혀 반응성을 주지 못한 반면, RK와 CL는 초기 이륙 비행(Initial flight), 유인 물질 방향성 비행(Directional flight) 및 목표물 접근 비행(Target flight)을 보여주었다. 그러나 CL와 RK 사이에 이들 풍동반응의 뚜렷한 차이를 보이지는 않았다.

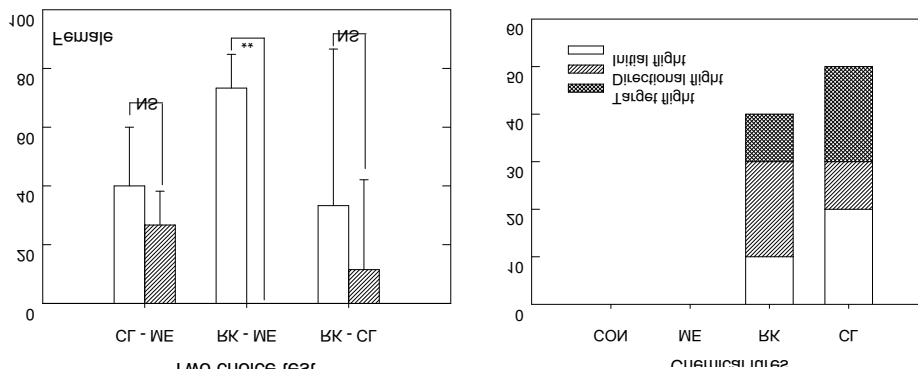
(A)



(B)



(C)



**Fig. 2.** Attractant bioassay against *B. scutellata* in laboratory conditions. Methyl eugenol (ME), raspberry ketone (RK) and cuelure (CL) were compared. Both male and female adults were collected from pumpkin field in Andong and used in this bioassay. (A) Y tube test using a single choice. Each treatment was replicated with five different insects. (B) Y tube test with choice. 'NS' and '\*\*' indicate no significant different and significant difference at Type I error = 0.01, respectively. (C) Wind tunnel assay. Source to target was divided into three parts. 'Initial flight' is defined by a migration from source to one third to target. 'Directional flight' is defined by a migration from source to two thirds to

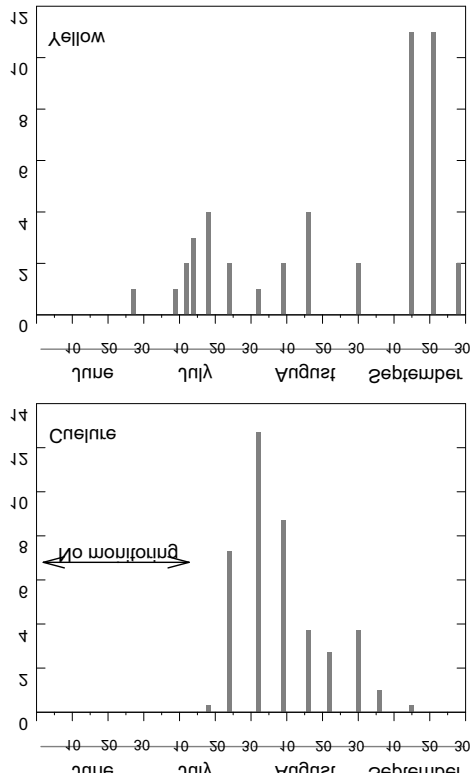
target. 'Target flight' is defined by a migration from source to target. Each lure test used 10 adults and was replicated three times.

### 안동지역 호박꽃과실파리 발생 현황

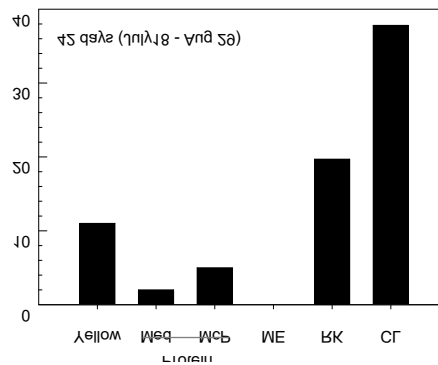
황색트랩 끈끈이 트랩을 이용하여 안동 호박밭A에서 호박꽃과실파리의 연중 발생을 모니터링하였다(Fig. 3A). 5월 중순부터 모니터링 한 결과 최초의 발견은 호박과실파리(*B. depressa*)로서 6월 9일에 암컷과 수컷 각 1 마리씩 유인되었다. 호박꽃과실파리는 6월 27일에 암컷 1 마리가 유인되었다. 이후 유인밀도의 증가가 나타나 7월 중순에 피크를 보이고 다시 8월 중순에 피크를 나타냈다. 이후 이 유인밀도는 감소하다가 다시 9월 중순경에 제2차 발생피크를 보였다. 반면에 동일한 호박밭에 CL 유인 물질 장착된 델타트랩을 7월 18일에 설치하였다. CL 트랩에서도 7-8월에 높은 발생피크를 나타냈다. 황색트랩에서 7월중하순 및 8월 초에 비교적 낮게 포획밀도를 보인 이유는 아마도 주변의 CL 및 다른 유인트랩의 설치에 따른 감소로 여겨진다. CL 유인트랩에서 9월 이후에는 발생밀도가 현격하게 줄어들었다. 이는 처리된 유인 물질 모두 방출되어 유인력을 잃어 포획량이 없는 것으로 확인되었다. 따라서 호박꽃과실파리 성충 최성기는 7-8월의 기간에 초기 발생 그리고 9월 중순 이후에 후기 발생이 있는 것으로 관찰되었다.

이 초기 발생 기간(7월 18일 - 8월 29일)에 서로 다른 유인 물질 및 트랩에 따른 호박꽃과실파리의 유인효과를 비교하였다(Fig. 3B). 호박꽃과실파리는 ME에 전혀 유인되지 않았다. 단백질 먹이원을 유인 물질 제작된 두 트랩(Med, McP)에 일부 유인효과를 나타냈으나, 황색트랩이 이들 유인트랩들 보다 포획능력이 높았다. 그러나 호박꽃과실파리의 유인 물질 알려진 RK 과 CL에서 높은 유인효과를 나타냈다 이들 사이에는 CL가 RK 보다 높은 유인효과를 나타내는 것으로 나타났다. 이때 사용된 방출기는 PE 재질이었다.

(A)



(B)

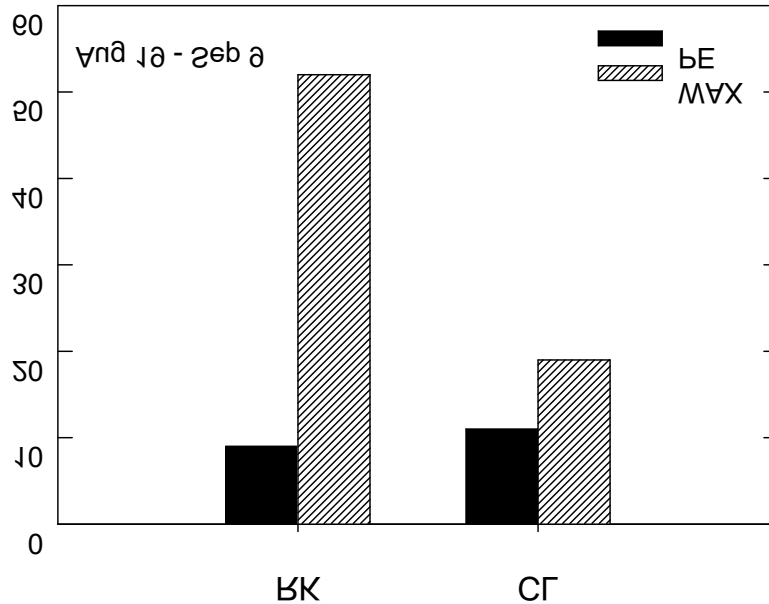


**Fig. 3.** Field monitoring of *B. scutellata* in pumpkin field at Andong in 2016. (A) Monitoring was performed one time a week from May to September using a yellow sticky trap ('Yellow'). Monitoring with cuelure was performed at the same time from mid July to September. (B) Comparative analysis of different lures in the total number of fly captures for 6 weeks. 'Protein' lure indicates yeast and sugar (1:3, g/g) diet. This lure was installed into two different traps of mediterranean fruit fly trap ('Med') and McPhaell trap ('McP'). Others are 'ME' for methyl eugenol, 'RK' for raspberry ketone, and 'CL' for cuelure. They were formulated in 100 mg per wax dispenser and then installed in delta trap.

### 트랩형 MAT 방제기술

트랩형 MAT 기술은 유인제로 호박꽃과실과리를 유인하여 유인제에 포함된 살충제로 치사시키는 고정형 설치기술이다. 이를 개발하기 위해서는 우선 야외 조건에서 지속적으로 유인물질을 방출하고 살충제를 함유하는 방출기의 개발이 우선시된다. 일반적으로 많이 사용되는 PE 방출기를 대상으로 본 연구에서 개발된 과실과리용 왁스형 방출기의 효과를 비교하였다. PE 방출기의 경우는 살충제의 투입이 불가능하여 델타트랩을 이용하여 유인된 곤충을 움직이지 못하게 하는 방식으로 유살된 곤충의 밀도를 파악하였다. 동일한 델타트랩에 왁스형 방출기에는 스피노사드 살충제(200 ppm)를 함유하게 하였다. 두 방출기에 포함된 유인 물질 모두 동일한 양(10 mg)을 투입하였다. 이러한 조건에서 4 주간 호박밭B에서 비교 실험한 결과(Fig. 4)

PE 방출기보다 왁스형 방출기가 더욱 유살효과가 높았다( $\chi^2 = 5.6311$ ;  $df = 1$ ;  $P = 0.0176$ ). 특별히 RK를 집적한 왁스형 방출기가 가장 높은 유살효과를 나타냈다.



**Fig. 4.** Comparison of two dispensers to attract males of *B. scutellata*: polyethylene tube ('PE') and wax formulation ('WAX'). Two lures were used to each dispenser: raspberry ketone ('RK') and cuelure ('CL'). Two lures were contained in each dispenser in a dose of 100 mg. Cumulative number of fruit flies were counted for 3 weeks.

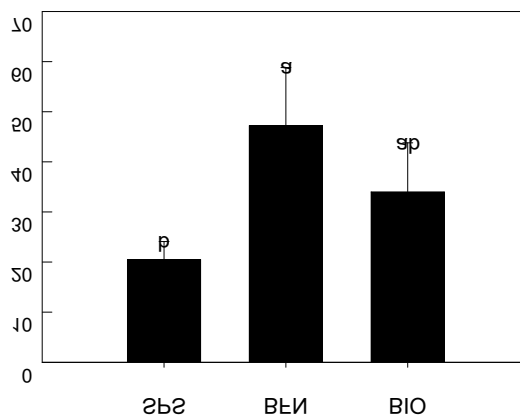
두 번째로 유살되는 수컷의 밀도를 최대 높일 수 있는 트랩 종류를 선별하였다(Fig. 5). 앞의 실험에서 결정된 RK를 집적한 왁스형 방출기를 4 종류의 트랩에 동일한 양으로 처리하고 포획량을 비교하였다. 이들 네 종류의 트랩은 서로 상이한 포획 밀도를 나타냈다( $F = 32.67$ ;  $df = 3,6$ ;  $P = 0.0004$ ). 과실파리가 유인 물질 4 방향에서 구멍을 타고 들어오게 하는 Med 트랩이 가장 낮은 포획밀도를 보였고, 다음으로 윈트랩이 낮은 포획밀도를 나타냈으며, 델타트랩과 깔때기트랩은 통계적으로 차이 없이 가장 높은 포획밀도를 나타냈다.





**Fig. 5.** Comparison of four different traps to attract males of *B. scutellata*: funnel type (Funnel), wing type (Wing), mediterranean fruit fly trap ('Med'), and McPhaeil trap ('McP'). All traps were provided with the same amount (100 mg/ lure) of raspberry ketone in a wax type formulation. Each trap treatment was replicated three times. Different letters above standard deviation bars indicate significant difference among means at Type I error = 0.05.

다음으로 MAT 트랩에 유인된 과실파리를 효과적으로 치사시킬 수 있는 살충제를 선별하였다(Fig. 6). 우선 현재 과실파리 방제에 이용하는 스피노사드(SPS)를 대조 약제로 사용하고, 여기에 곤충의 기절효과를 낼 수 있는 피레스로이드 살충제로서 비펜스린(BFN) 그리고 국내 친환경농자재로 비교적 파리목 곤충에 대해서 높은 살충효과를 지니는 생물농약(BIO)을 대상으로 비교 검토하였다. 이때 대조 약제인 SPS에 비해서 BFN과 BIO가 다소 높은 살충포획률을 나타낸 것으로 확인되었다( $F = 0.11$ ;  $df = 2,5$ ;  $P = 0.0526$ ).



**Fig. 6.** Comparison of three different insecticides to attract and kill males of *B. scutellata*: spinosad ('SPS', 200 ppm), bifenthrin ('BFN', 200 ppm), and a biopesticide ('BIO' 1,000 ppm). Trapping assays were performed in pumpkin field in Jeju island. Funnel trap was used to collect flies. Insecticides were mixed with the same amount (100 mg/mL) of raspberry ketone in a wax type formulation. Each trap treatment was replicated three times. Different letters above standard deviation bars indicate significant difference among means at Type I error = 0.05.

### 제3장 과실파리 암컷유살제 개발

#### 요약

국내에 두 과실파리가 호박을 가해하고 있다. 이들은 같은 *Zeugodacus* 속에 분류된다. 호박꽃 과실파리(*Z. scutellata*) 수컷은 큐루어(Cuelure)에 유인되어 포장에서 이 과실파리의 발생을 모니터링 하는 데 이용된다. 이에 반해, 호박과실파리(*Z. depressa*) 수컷을 유인하는 물질은 아직 알려지지 않았다. 단백질 먹이 유인제가 대부분의 과실파리를 유인하게 된다. 여기에 terpinyl acetate (TA)를 추가하여 호박과실파리의 유인력을 높였다. 본 연구는 TA-단백질먹이 유인제를 이용하여 호박 재배지에서 호박과실파리의 연중 발생을 모니터링 하는 데 목적을 두었다. TA-단백질먹이 유인제의 효율성을 증명하기 위해 호박꽃과실파리를 대상으로 큐루어와 TA-단백질먹이 유인제를 이용하여 2019년 한 해 동안 발생을 모니터링하고 이 두 유인제로 얻어진 연중 모니터링 자료를 비교하였다. 두 유인제를 이용한 호박꽃과실파리의 연중 발생 패턴은 10월 하순을 제외하면 유사하였다. TA-단백질먹이 유인제는 10월 하순 시기에도 지속적인 호박꽃과실파리의 포획을 보였는데 이는 9월 하순 이후 호박꽃과실파리의 성충 휴면 유기에 따른 유인 행동 차이로 이해되고 있다. TA-단백질먹이 유인제를 이용한 호박과실파리의 연중 모니터링은 크게 두 개의 발생 피크를 보여 하나는 7월 중순이고 다른 하나는 8~9월에 나타나며 포획된 개체들의 80% 이상이 암컷이었다. 이러한 TA-단백질먹이 유인제의 두 과실파리류에 대한 유인 효과를 바탕으로 스피노사드(spinosad) 살충제를 가미한 수화제를 제조하고 호박 재배지에 살포하였다. 처리 7 일경과 후 약 70% 이상의 방제 효과를 기록하였다. 그러나 이 방제 효과는 처리 이후 기간이 경과하면서 낮아지는 경향을 나타냈다. 이상의 결과는 TA-단백질먹이 유인제를 이용하여 야외 호박 재배지에서 호박과실파리의 연중 모니터링이 가능하다는 것을 보여 주었다. 또한 스피노사드를 가미한 TA-단백질먹이 유살제가 이들 호박과실파리류를 방제에 응용될 수 있다는 것을 제시하고 있다.

#### 서론

과실파리과(Tephritidae)에 속한 일부 종들이 농작물에 피해를 주고 있다(Kim and Kim, 2016). 국내에는 약 90 종의 과실파리가 자생하지만, 이 가운데 호박과실파리(*Zeugodacus depressa*)와 호박꽃과실파리(*Z. scutellata*)가 호박을 비롯한 여러 농작물에 피해를 주는 해충으로 분류되고 있다(Han and Kwon, 2010). 이들은 제주 및 남부 해안 지역을 중심으로 자생하는 노랑하늘타리(*Trichosanthes kirilowii* var. *japonica* Kitam)를 자연 기주로 이들 기주가 없는 지역에 비해 높은 밀도와 보다 장기간 동안 발생하여 해당 농작물에 대한 피해에 깊은 우려를 주고 있다(Jeon, 2009; Kim et al., 2010).

과실파리류의 발생 시기를 정확히 알아내는 것이 이들 해충군을 관리하는 데 필수적이다(Kim and Kim, 2016). 이를 위해 다양한 과실파리에 대한 특이적 유인제가 동정되고, 이를 농작물 재배지 또는 국경 검역에 이용하고 있다(Vargas et al., 2015). *Dacus*에 속한 많은 과실파리류는 난초과 식물에서 나오는 다양한 phenylpropanoid 또는 phenylbutanoid 화합물에 유인된다(Metcalf, 1979; Nishida et al., 1988). 이는 이 물질들이 이들의 성페로몬을 만드는 전구물질

로 이용된다는 것이 일부 종들에서 알려졌기 때문이다(Tan and Nishida, 1998). 따라서 이들 과실파리가 보이는 lekking 무리행동은 바로 이들 식물에서 나오는 시노몬(synomon)에 이끌려 약물섭취행동을 보이는 데에서 유래된다(Shelly, 2000). 이러한 물질을 분비하는 식물은 과실파리가 화분매개를 하여주기 때문에 상호 각자의 적응도를 증가시키는 화학교신으로 간주할 수 있다(Raghu, 2004). 이러한 물질 가운데 대표적인 것이 methyl eugenol (ME) 그리고 raspberry ketone (RK)이다. 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*)를 비롯한 여러 *Dacus*에 속한 과실파리가 ME에 유인되는 반면, 박과 작물을 가해하는 오이과실파리(*Zeugodacus cucurbitae*)를 비롯한 여러 과실파리가 RK에 유인된다. RK가 갖는 화학적 불안정성을 보완하기 위해 말단 알코올 관능기에 아세틸기를 붙여 제조한 것이 큐루어(cuelure: CL)이고 상업적으로 응용되고 이들 과실파리 유인제로 상품화되었다. 호박꽃과실파리 수컷도 CL에 높은 유인력을 보여 월동집단은 물론이고 연중 발생을 모니터링 하는 데 이용되었다(Al Baki et al., 2017; Kim et al., 2019). 한편 ME와 CL의 화학적 융합 형태로 여겨지는 zingerone (ZN)이 자비스과실파리(*Bactrocera jarvisi*)와 키르크과실파리(*B. kirki*)의 유인제로 알려지고 있다(Kim et al., 2019). 타우과실파리(*Z. tau*) 수컷의 경우에 ZN 섭취는 암컷과 교미능력이 크게 향상되었다(Shamshir and Wee, 2019). 지중해과실파리(*Ceratitis capitata*)의 경우는 구조적으로 상이한 물질인 trimedlure (*tert*-butyl-4(or 5)-chloro-2-methyl-cyclohexane carboxylate) 광학이성체들이 높은 유인력을 발휘하고 있다(Doolittle et al., 1991).

암컷을 유인하는 물질 개발을 위해 많은 과실파리류가 알 발육을 위해 암컷이 다량의 아미노산이 필요하여 단백질 먹이에 유인된다는 점을 이용하고 있다(Placido-Silva et al., 2005). 가장 대표적인 것이 효모 가수분해산물인 토룰라효모(*torula yeast*)로서 여러 과실파리 사육에 먹이원으로 이용된다(Mangan and Thomas, 2014). 따라서 이들 단백질 발효 및 가수분해물에 살충제를 혼합하여 과실파리의 화학 방제에 이용하고 있다(Epsky et al., 2014). 예를 들어, 미국의 Dow Chemical에서 개발된 GF120이 대표적으로 이들 단백질 가수분해 산물에 스피노사드(*spinosad*) 살충제를 혼합하여 상품화하였다(Prokopy et al., 2003). 호박꽃과실파리와 달리 호박과실파리는 수컷 유인물질이 아직 밝혀지지 않았다. 이에 수컷 보다는 암컷을 겨냥하여 Kim and Kwon (2018)은 이스트 먹이원에 *terpinyl acetate* (TA)를 첨가하여 호박과실파리 유인제를 개발하였다. 여기서 TA는 단백질 먹이에 대한 호박과실파리의 유인력을 현격하게 증가시켰다. 그러나 이 TA-단백질먹이 유인제를 이용하여 호박과실파리의 연중 모니터링에 응용할 수 있는지는 검증받지 못하여 아직 이 유인제의 현장 적용성이 의문시 되고 있다. 본 연구는 호박과실파리류 현장 모니터링에 대한 TA-단백질먹이 유인제의 응용 가능성을 결정하는 데 목표를 두었다. 또한 이러한 단백질먹이 유인제들이 과실파리류에 대해 비교적 낮은 종 특이성을 보이게 된다, 이를 이용하여 단백질 유인제에 살충제를 첨가하여 호박과실파리류를 대상으로 새로운 살충제 제형을 개발하는 데 또한 연구 목표를 두었다.

## 재료 및 방법

### TA-단백질먹이 유인제 및 유살제 조제

유인제의 조성 및 제법(Table 1)은 이전의 연구에서 제시된 방법을 따랐다(Kim and Kwon, 2018). 이렇게 준비된 유인제를 FAT (female annihilation technique)라 명명하였다. 즉, TA, 이스트추출물, 설탕 그리고 방부제를 혼합하여 100 배 농축액으로 액상 FAT을 조제하였다. 한편 살포용 FAT 수화제는 FAT 액상을 동결건조하여 여기에 스피노사드 입제를 혼합하여 조제하였다. 살포액은 1,000 배 희석하게 하였으며 이때 스피노사드는 100 ppm이 되게 하였다.

**Table 1.** Composition of TA-FAT and preparation of monitoring lure or wettable powder to control fruit flies infesting pumpkin

Components	Supplier	Amount	Preparation/use
Yeast extract	Sigma-Aldrich Korea, Seoul, Korea	75 g	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mix well</li> <li>● Dilute 100 times with water when use for monitoring McPhaeil trap</li> <li>● FAT-monitoring</li> </ul>
Sugar	CJ, Incheon, Korea	20 g	
Fruit juice	Lotte, Seoul, Korea	80 mL	
Terpinyl acetate	Sigma-Aldrich Korea, Seoul, Korea	2 mL	
Sodium azide	Sigma-Aldrich Korea, Seoul, Korea	1 g	
Distilled water	-	40 mL	
FAT-monitoring (freeze-dried)	-	100 g	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mix well</li> <li>● Prepare 1,000 ppm with water for spray suspension</li> <li>● FAT-Control</li> </ul>
Spinosad (10% active ingredient)	Bumerang™, DongBangAgro, Seoul, Korea	100 g	

## 야외 모니터링

암컷유살제는 맥패일 트랩(Pherobank, Wijk bij Duurstede, Netherlands)을 이용하여 처리하였다. 각 트랩에 분석될 FAT 유인제를 100 배 희석하여 500 mL씩 채웠다. 조사기간은 안동에서 2019년 6월 초부터 11월 중순까지 진행되었고, 제주도에서는 2019년 4월 중순에서 11월 초까지 실시되었다. 조사지역은 경북 안동시 남선면 기느리(북위 36.53 동경 128.77) 호박밭과 제주시 A 포장(북위 33.44 동경 126.57), B 포장 그리고 C 포장에서 실시되었다. 제주도의 경우 포장 주변에 노랑하늘타리가 자생하였다. 트랩에 포획된 호박과실파리류 동정은 중흉 큰등판(scutum)의 세로줄과 작은등판(scutellum) 황색 착색 정도에 따라 호박꽃과실파리와 호박과실파리를 구분하였다(Kim et al., 2017a). 암수는 산란관의 존재로 구분하였다. 모니터링 결과는 각 기간 동안 3 반복의 평균 포획수로 표기하였다.

## 야외 약제 살포

약제 처리는 호박과실파리류가 발생하는 최성기인 8월 초에 실시되었다. 앞에서 기술한 안동의 호박 재배지를 대상으로 난피법 3 반복으로 실험 설계하였다. 각 반복은 약 50 평의 재배지를 각 시험구로 하였다. 호박은 터널형으로 재배되었다. 약제는 무처리, 스피노사드 처리 그리고 FAT 살포처리의 3 가지로 구성되었다. 스피노사드 처리는 부메랑 약제를 1,000 배(100

ppm의 유효약량)로 희석하여 이용하였다. FAT 살포제도 1,000 배로 희석하여 동일한 스피노사드 유효 약량이 포함되게 하였다. 약제 분무기를 이용하여 터널 내부로 노출된 호박을 대상으로 살포 처리하였다. 각 실험구 당 약 7 L의 살포 약제가 분무되었다.

호박과실파리류의 밀도 변화는 FAT 유인제를 포함한 맥패일 트랩을 이용하여 각 시험구 당 1 개를 설치하였다. 처리 전밀도를 기준으로 처리 후 7 일, 14 일 그리고 21 일에 각각 포획 호박과실파리류 총 개체수로 조사하였다. 본 조사 시기에 약 70% 이상은 호박과실파리의 암컷이 포획된 호박과실파리류에 포함되었다.

## 통계분석

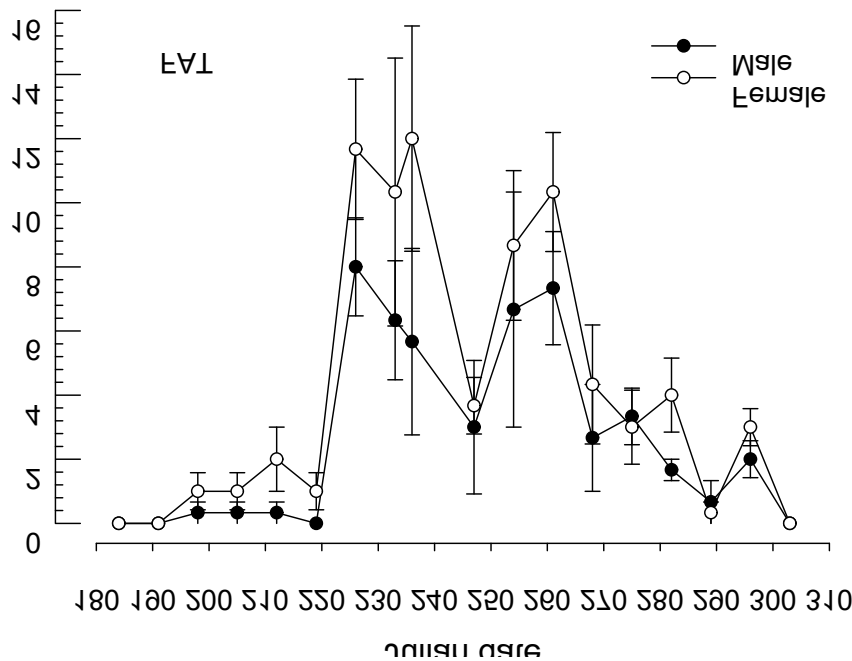
생존율 자료는 arcsin 수치변환을 통해 분산분석에 이용되었다. 분산분석은 SAS 프로그램(SAS Institute, 1989)의 PROC GLM을 이용하여 이원분류로 처리하였다. 처리 평균간 비교는 최소유의차검정(Least squared difference: LSD)을 이용하여 제1형 오류가 0.05 수준에서 유의성을 검정하였다.

## 결과

국내에 생산되는 호박은 크게 4 종으로 동양계 호박인 *Cucurbita moschata*가 주를 이루고, 단호박으로 알려진 *Cucurbita maxima*가 또한 널리 재배되고 있다(Cho et al., 2009). 여기에 멕시코 원산지인 *Cucurbita pepo*와 대목으로 사용되는 흑룡호박인 *Cucurbita ficifolia*가 포함된다. 시설재배지의 경우 연중 재배되지만, 주로 노지에서 재배되는 호박은 4월 중순에서 5월 상순에 직파하여 6월 중순에서 9월 하순까지 열매를 수확하게 된다. 재배는 묘판에 파종하여 4~5일 후 발아하게 되고 25~35 일 경과되면 4~5 장의 본엽이 나오게 되는 5월 중순에서 6월 상순에 정식하게 된다. 따라서 기주의 출현과 시기를 맞추려는 호박과실파리의 발생은 이 시기 이후에 나오게 된다. 이를 알아보기 위해 본 연구는 매년 호박이 재배되는 포장을 안동 지역에서 선정하고 5 월부터 매주 모니터링 하였다.

## FAT 유인제를 이용한 호박꽃과실파리 연중 모니터링

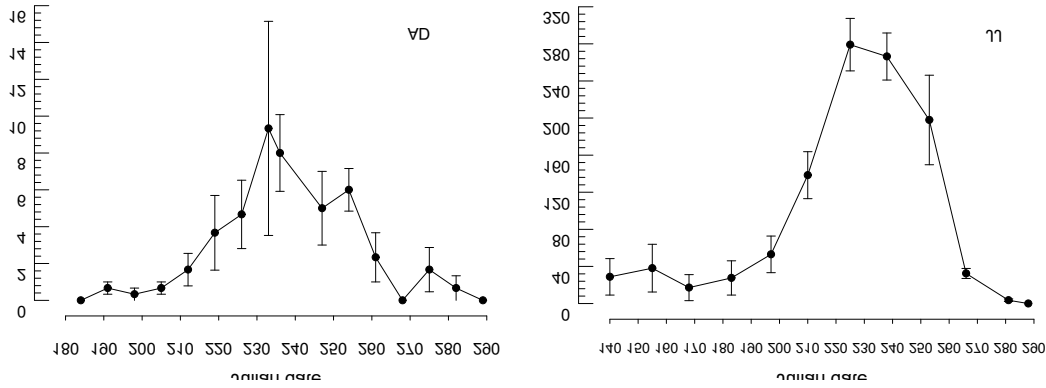
안동 지역에서 재배되는 단호박 경작지에서 호박꽃과실파리가 매년 발생하였다. 이를 기반으로 FAT 유인제를 이용하여 이 과실파리의 연중 발생소장을 모니터링하였다(Fig. 1). 이 유인제를 맥패일 트랩에 담고 2019년도 6월부터 11월까지 매주 일정한 간격으로 조사한 결과 최초로 트랩에 발견된 시점은 7월 12일이었고 마지막 발견시점은 10월 30일이었다. 따라서 약 3.5 개월 동안 호박꽃과실파리가 호박 재배지에 발생하였다. 포획된 밀도를 기반으로 호박꽃과실파리의 발생은 재배시기에 따라 뚜렷한( $F = 8.91$ ;  $df = 16, 66$ ;  $P < 0.0001$ ) 차이를 나타냈다. 특별히 FAT 유인제는 암수 모두를 유인하였다. 그러나 수컷보다는 암컷의 유인효과가 현격하게( $F = 70.04$ ;  $df = 1, 66$ ;  $P = 0.0053$ ) 높았다. 그러나 연중 발생 소장은 암수에 따라 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다( $F = 0.58$ ;  $df = 15, 66$ ;  $P = 0.8785$ ). 이를 기반으로 전체적으로 발생 상황을 살펴보면 7월 중순에서 8월 초까지 첫 번째 피크, 8월 중하순의 두 번째 피크, 그리고 9월 중하순의 세 번째 피크 그리고 10월 이후의 네 번째 발생피크로 구분되어졌다.



**Fig. 1.** An year-round monitoring of *Z. scutellata* ('SFF') using TA-protein diet lure ('FAT') in McPhaeil trap at Andong in 2019. Each monitoring consists of mean counts from three different local places cultivating pumpkin. Error bars indicate standard deviation.

이상의 FAT 유인제를 이용한 호박꽃과실파리의 연중 모니터링 결과를 기존에 모니터링에 사용한 CL 유인제를 통해 얻어진 모니터링 결과와 비교하였다(Fig. 2). 두 지역(안동과 제주)에서 호박꽃과실파리의 발생을 분석하였다. 안동지역은 두 종류의 유인제가 동일한 장소에서 모니터링이 실시되었다. CL 유인제를 통해 최초의 발견시점은 7월 5일로서 FAT 유인제 보다 1 주일 앞서 호박꽃과실파리를 포획하였다. 그러나 CL 유인제를 통한 최종 포획일은 10월 16일로서 FAT 유인제에 비해 2 주 앞섰다. 반면에 제주 지역에서는 CL 유인제만을 이용하여 모니터링 하였는데 최초 발견시점은 5월 16일에 나타나 안동지역에 비해 약 50 일 앞서서 발생하였다. 그러나 최종 발견시점은 10월 15일로서 안동과 거의 동일한 시점에 CL 유인제에 유인되지 않았다. 두 지역은 시기에 따라 발생빈도에서 뚜렷한 차이를 나타냈다( $F = 253.11$ ;  $df = 1, 58$ ;  $P < 0.0001$ ).

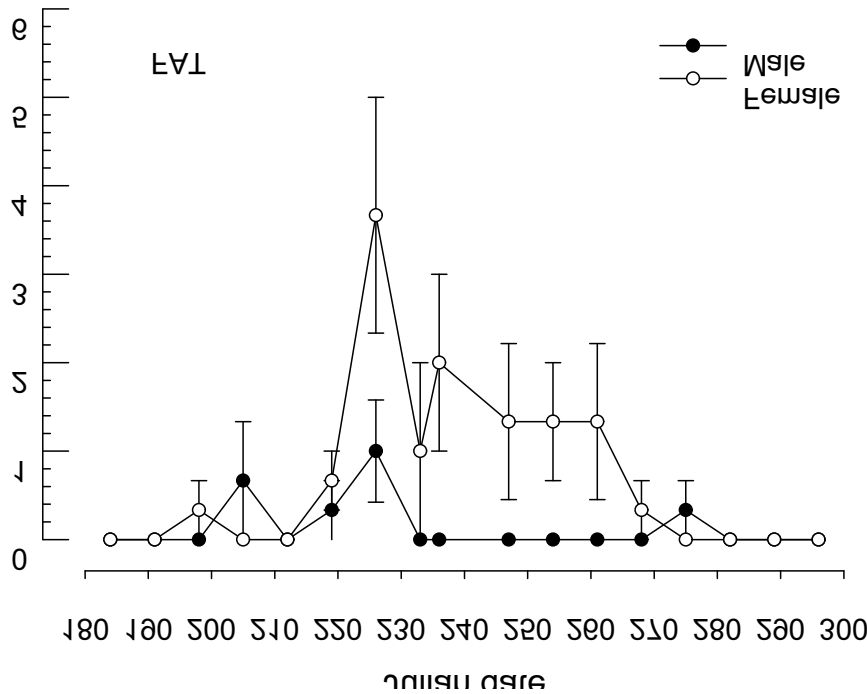
이상을 통해 안동지역에서 호박꽃과실파리는 FAT 유인제와 CL 유인제 모두 7월 초순에서 10월 중하순에 발생하는 유사한 모니터링 결과를 보였다. 그러나 발생피크는 CL 유인제의 경우 8월 이후의 피크는 크게 하나의 형태로 나와 FAT 유인제가 보여주는 발생 소장과 차이를 나타냈다.



**Fig. 2.** An year-round monitoring of *Z. scutellata* ('SFF') using Cuelure in delta trap at Andong ('AD') and Jeju ('JJ') in 2019. Each monitoring consists of mean counts from three different local places cultivating pumpkin. Error bars indicate standard deviation.

### FAT 유인제를 이용한 호박과실파리 연중 모니터링

호박과실파리에 대한 국내 연중 모니터링 자료가 없다. 이에 대한 가장 큰 이유는 호박꽃과 실파리와는 달리 호박과실파리의 특이적 유인제가 없다는 것이다. 본 연구에서는 이에 기존 연구(Kim and Kwon, 2018)에서 보듯 암수 모두를 유인하는 FAT 유인제를 이용하여 호박 재배 전체시기를 통해 모니터링이 실시되었다(Fig. 3). 전체적으로 수컷보다는 암컷의 포획 밀도가 높았다. 이에 암컷을 기준으로 발생 패턴을 분석하면 크게 두 개의 성충 발생 피크를 관찰하였다. 첫 발생 피크는 7월 중순에 적은 밀도로 나타났고, 두 번째 피크는 8월 중순에 높게 나타나 9월 말까지의 비교적 긴 시기 동안 발생 피크를 나타냈다. 동일한 FAT 유인제로 모니터링 한 호박꽃과실파리와는 달리 10월부터는 호박과실파리의 성충 발생은 없었다.



**Fig. 3.** An year-round monitoring of *Z. depressa* ('PFF') using TA-protein diet lure ('FAT') in McPhaeil trap at Andong in 2019. Each monitoring consists of mean counts from three different local places cultivating pumpkin. Error bars indicate standard deviation.

### FAT 수화제로 호박과실파리류 방제 효과

FAT 유인제가 호박과실파리와 호박꽃과실파리 모두에서 유인 효과가 있다는 점을 이용하여 이 유인제에 과실파리에 비교적 효과가 높은 스피노사드 살충제를 혼합하여 FAT 수화제를 제조하였다. 이 수화제를 1,000 배로 희석하여 호박재배지에 살포하여 이 약제의 방제 효과를 분석하였다(Table 2). 약제를 처리하고 호박과실파리류의 발생 밀도는 다시 FAT 유인제가 포함된 맥패일 트랩을 이용하여 발생 밀도 변화를 추적한 결과 처리 후 7 일째에 무처리구에 비해 두 처리구에서는 뚜렷한 방제 효과를 나타냈다. 이 가운데 FAT 수화제 처리(약 76%)가 스피노사드 처리(36%)에 비해 월등히 높은 방제 효과를 나타냈다. 이러한 비교적 높은 방제 효과는 처리 14 일째에도 유지되지만, 처리 21 일째 경과하면 두 처리 약제 모두 방제 효과가 30% 미만의 낮은 효과로 나타났다.



**Table 2.** Control efficacies of TA-FAT against fruit flies infesting pumpkin in crop-cultivating field. Survival individuals were monitored by TA-protein diet lure in McPhaeil trap. Each treatment was replicated ('Rep') three times. Assessment was performed at 7, 14, and 21 days after treatment (DAT). Mean difference was analyzed using Duncan's multiple range test (DMRT) at Type I error = 0.05.

Treatments	Before treatment (flies/trap)	Survival (%) at 7 DAT			Average Survival (%)	DMRT	Control efficacy (%)
		Rep 1	Rep 2	Rep 3			
Untreated	3.3	60.7	30.3	121.2	70.7	A	-
Spinosad	10.3	9.7	38.8	87.4	45.3	B	36.0
TA-FAT	6.0	16.7	0	33.3	16.7	C	76.4

Treatments	Before treatment (flies/trap)	Survival (%) at 14 DAT			Average Survival (%)	DMRT	Control efficacy (%)
		Rep 1	Rep 2	Rep 3			
Untreated	3.3	151.5	90.9	90.9	111.1	A	-
Spinosad	10.3	68.0	87.4	126.2	93.9	B	15.5
TA-FAT	6.0	33.3	100	33.3	55.5	C	50.5

Treatments	Before treatment (flies/trap)	Survival (%) at 21 DAT			Average Survival (%)	DMRT	Control efficacy (%)
		Rep 1	Rep 2	Rep 3			
Untreated	3.3	181.9	90.9	90.9	121.2	A	-
Spinosad	10.3	126.2	29.1	106.8	87.4	C	28.2
TA-FAT	6.0	16.7	166.7	116.7	100	B	17.5

## 고찰

호박과실파리의 교미행동은 수컷의 교미 전 날개 떨림이 암컷을 유인하여 교미에 이르게 하는 데 필수적이다(Kim and Jeon, 2008). 이는 수컷의 몸에서 암컷을 유인하는 성페로몬의 존재를 의미한다. *Dacus*에 속한 다른 과실파리류에서 보듯, 식물체 유래 시노몬을 섭취한 후 소낭에서 페로몬 성분으로 전환되어 혈림프를 통해 직장샘으로 이동하여 저장하다가 교미가 이뤄지는 시간에 향문을 통해 나오는 성페로몬을 날개 떨림으로 공중으로 발산하는 것으로 추정된다(Tan and Nishida, 1998). 그러나 아직 호박과실파리가 섭취하는 식물유래 물질을 찾기 못하였으며, 또한 이에 따른 성페로몬 성분을 동정하지 못하였다. 실제로 호박 추출물에 대한 호박과실파리의 유인 반응 및 산란 유도 반응이 실내 조건에서 검증되었으나 실제로 포장조건에서는 이들 추출물에 포함된 (R)-(+)-limonene, nonyl aldehyde, *p*-cymene, octyl aldehyde, 2-ethyltoluene, 3-ethyltoluol, cumene 등의 단일 성분에 유인되지 않았다(Kim et al., 2012). 반면 단백질먹이 유인제에 대한 호박과실파리의 유인력은 일찍이 양조용 효모 또는 토롤라효모에서 조사된 적이 있다(Kim et al., 2010). 여기에 기주가 인접한 경우 유인력이 보다 증가되었다(Kim et al., 2012). 반면에 트랩의 색깔은 이 과실파리의 유인력 변화에 크게 영향을 주지

않았다(Kim and Kim, 2002). 이에 본 연구는 호박과실파리의 연중 발생 상황을 파악하기 위해 단백질먹이 유인제에 유인효과를 증가시키는 TA 기반 유인제(Kim and Kwon, 2018)를 이 해충의 연중 발생 모니터링에 적용하였다. 이 결과 호박과실파리는 호박 열매가 재배지에 나타나는 시기에 성충 발생이 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 전체적으로 발생은 7월에서 9월까지 진행되었으며, 10월 이후에는 포획되지 않았다. 또한 암컷이 수컷 보다 많은 밀도로 유인되었다.

FAT 유인제가 실제로 호박과실파리의 연중 발생을 탐지할 수 있었는지에 대한 가능성을 밝히기 위해 연중 발생 소장이 잘 알려진 호박꽃과실파리의 연중 발생(Kim et al., 2017b)을 이 FAT 유인제로 조사하였다. 이 결과 기존에 이 과실파리를 모니터링하는 데 사용되어온 CL 유인제의 동일한 장소에서 동일한 기간에 얻어진 자료와 비교한 결과 두 유인제 모두 거의 유사한 호박꽃과실파리의 연중 발생 시기를 나타냈다. 이는 FAT 유인제를 이용한 호박과실파리의 모니터링 기술을 뒷받침하는 결과로 해석된다. 일부 차이가 FAT 유인제가 CL 유인제 보다 늦가을까지 포획되는 것을 보였는데 이는 이 호박꽃과실파리가 성충으로 휴면하기(Al Baki et al., 2017)에 나타나는 생식적 행동 변이로 여겨진다. 성충 휴면은 생식 휴면으로 암컷의 경우 알 발육을 멈추고 교미행동을 억제하게 된다(Sim et al., 2015). 따라서 생식 활동을 보이는 시기에 CL을 섭취한 수컷이 이 물질을 이용하여 암컷을 유인하는 성페로몬을 만드는 데 사용하면, 휴면으로 유기되면 교미를 진행하지 않기에 이 물질에 대한 유인력을 잃게 된다는 것을 이해할 수 있다. 또한 지역적으로 안동과 제주 사이에는 연중 발생 피크의 차이가 나타나는 데, 이는 휴면발육이 종료되는 시점에서 두 지역 사이에 봄철 기온 차이에 따른 휴면발육 차이로 여겨진다. 흥미로운 사실은 가을철 CL에 유인력이 잃게 되는 시기가 두 지역에서 동일한 시기에 일어났다는 점이다. 이는 이 호박꽃과실파리가 광주기이 변화를 감지하고 휴면 유기가 일어났을 것으로 추정된다. 호박꽃과실파리에 대한 휴면유기 및 휴면종료 이후의 발육과정에 대한 보다 체계적 연구가 필요하다.

호박과실파리류 대상 살포형 수화제 제형을 개발하였다. 실내 직접 노출 실험과 야외 조건의 분석 결과는 상이하였다. 예를 들어, 유충 및 번데기에 대해서 실내 토양혼화 처리실험에서 terbufos, ethoprophos, carbofuran 등 입제는 유충에 50~80% 살충률을 보였으며, 번데기에 처리 시 성충이 우화하지 못하였다(Jeon, 2009). 그러나 포장 조건의 처리는 과실파리 적용 약제인 diazinon (다이아지논)에 대해서도 방제효과가 낮았다(Kim et al., 2018). 또한 성충에 대해서도 실내 조건에서는 GF120 (Dow AgroScience, Indianapolis, IN, USA) 처리 후 24 시간만에 100% 사망하였다(Jeon, 2009). 그러나 야외 조건에서 GF120은 호박과실파리류에 대해서 유인력이 낮았다(Kim and Kwon, 2018). 따라서 GF120의 유살 효과도 야외 조건에서 낮을 것으로 판단되었다. 본 연구 결과는 FAT 유살제가 기존의 스피노사드 단독 처리 보다 포장 조건에서 방제 효과가 우수하다는 것을 보여주고 있다. 따라서 TA 및 단백질 유래 유인물질이 호박과실파리류에 대한 유인효과를 주어 섭식을 촉진시켰으며 이에 따라 유살제에 포함된 스피노사드의 살충력을 상승시켜 주었을 것으로 사료된다. 그러나 본 연구는 비록 유인된 성충 밀도로 방제 효과를 산출하였으나 추후 약제 처리 유무에 따른 수확량 차이를 산출해야 보다 현실적 방제효과로 해석될 수 있다. 또한 본 연구 결과에서 보듯 호박과실파리류의 방제효과가 처리 이후 시간의 경과에 따라 방제효과가 낮아지기에 호박과실파리류가 발생하는 7~9월에 적어도 2 주 간격으로 처리하여야 충분한 방제 효과를 볼 수 있다는 것을 보여주고 있다.

# 제4장 과실파리 박멸을 위한 불임충방사 기술 개발

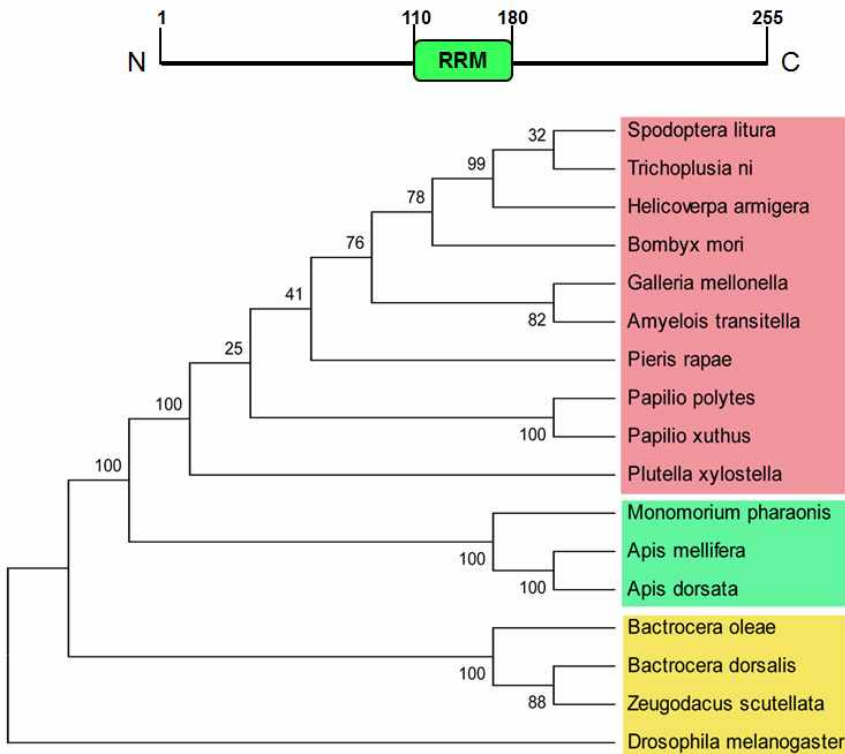
## 제1절 과실파리 성전환 기술

### [요약]

호박꽃과실파리를 대상으로 암컷을 수컷으로 전환시키는 기술이 개발되었다. RNAi 기술을 이용하여 성결정에 영향을 주는 Transformer-2 유전자의 발현을 억제하여 암컷을 수컷으로 전환하는 원리를 이용하였다. 기존의 기술은 알에 Tra 유전자에 대한 dsRNA를 주입하여 이 유전자의 발현을 억제하는 기술을 보고하였으나, 본 연구는 이 기술이 실현성이 없기에 유충을 대상으로 먹이에 dsRNA를 첨가하여 지속적으로 Tra-e 유전자의 발현을 억제하였다. 결과적으로 대조구에 비해 50% 이상 많은 수컷이 발생하게 되었다.

### 1. 호박꽃과실파리의 Tra-2 유전자 구조

아미노산의 길이가 255 개의 Tra-2 유전자를 전사체로 부터 얻었다. 이 유전자는 다른 곤충의 Tra-2 유전자와 아미노산 서열에서 상동성을 나타냈다.



특히 dsRNA를 형성하는 영역에서는 20mer 이상의 길이에서 정확히 일치하는 영역들이 많아 만든 dsRNA는 호박꽃과실 뿐만 아니라 방제 대상으로 하는 오리엔탈과실파리에 대해서 영향을 줄 것으로 예상된다.

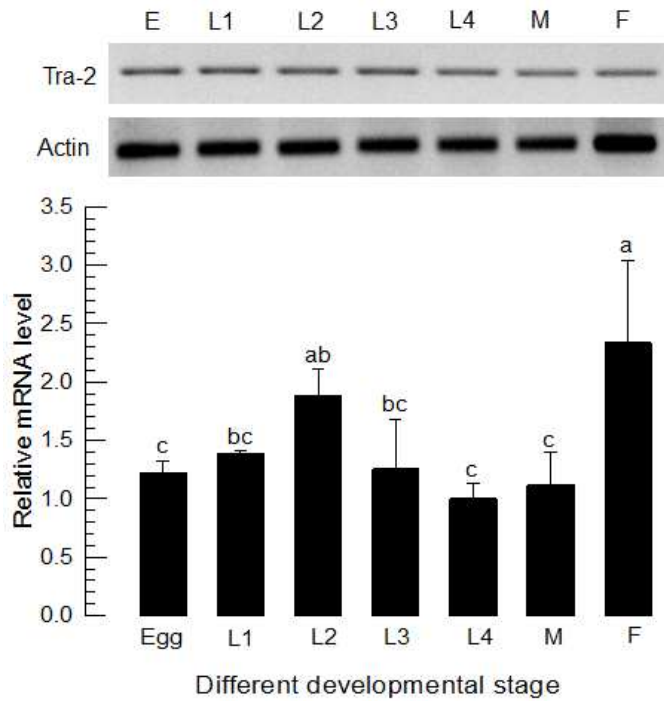
Bcuc: AGATATAGCGGATGCTAAAGCGGCCAAGGACGCTTGCTCCGGCATGGAAATCGATGATCGGCGCATAACGTGTCTGA 2478  
 Bdor: GGACATAGCGGATGCTAAAGCGGCCAAGGACGCTTGCTCCGGCATGGAAATCGATGATCGGCGCATAACAGTGTGA 2200  
 dsRNA: GACATAGCGGATGCTAAAGCGGCCAAGGACGCTTGCTCCGGCATGGAAATCGATGATCGGCGCATAACGTGTCTGA 74

Bcuc: TTACTCAACAACACAAAGGCCACACACACCCACACCTGGCGTCTATATGGGACGACATACAGGTATTACAACCA 2553  
 Bdor: TTACTCAACAACACAAAGGCCACACACACCCACACCTGGCGTCTATATGGGACGACATACAGGTATTACAACCA 2275  
 dsRNA: TTACTCAACAACACAAAGGCCACACACACCCACACCTGGCGTCTATATGGGACGACATACAGG----- 138

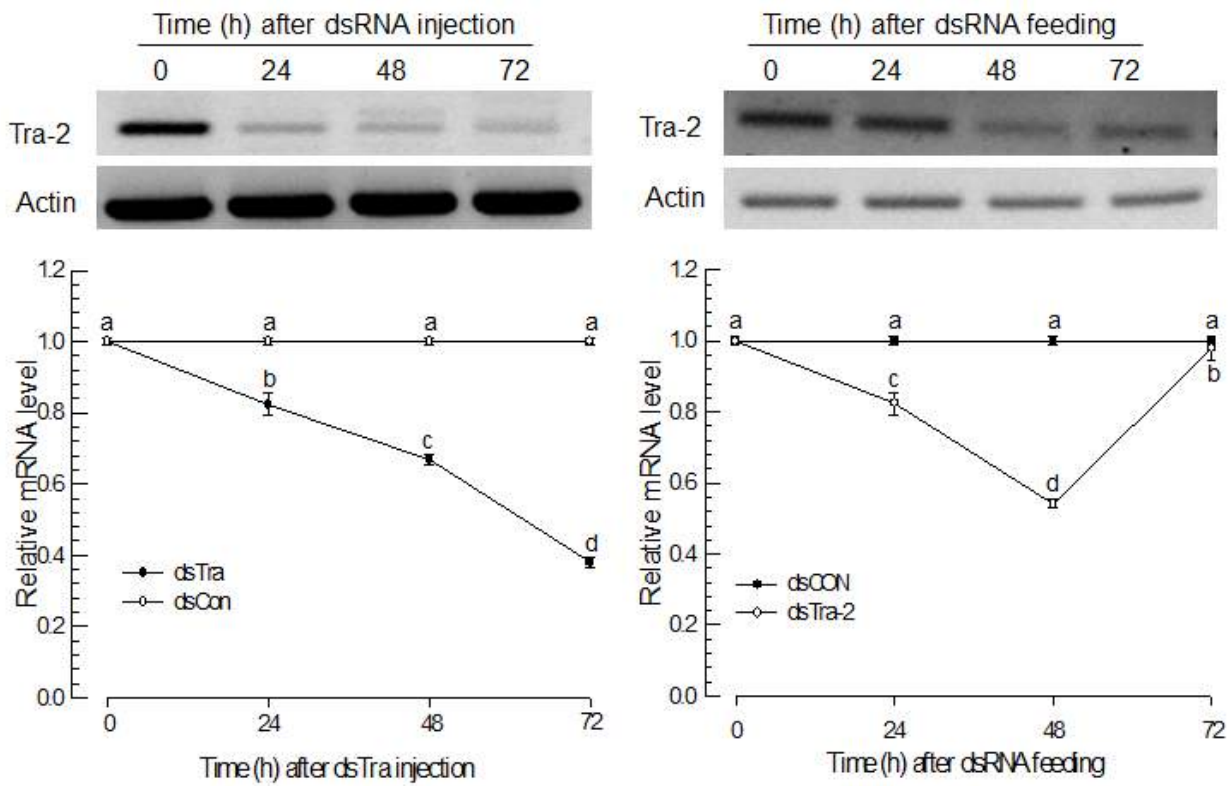
Bcuc: ATAATA---TAATAGATATAATTAATAATTATTAATTTTCTCTACCTTCCTTTGTTTTAGGCGTGAACGTGAGC 2625  
 Bdor: ATAATAATTTAATGCATATAAGTAAAGATTATTAATTTTCTCTACCTTCCTTTGCCA-AGGCGTGAACGTGAGC 2349  
 dsRNA: -----CGCGAACCGGAGC 151

Bcuc: ATAATGATCGCTATCGTGATGACTATCGTTCGCGTCGTCGTTCCGGCTCACCTTATCACAGTCGCAATAAAT---T 2697  
 Bdor: ATAATGATCGCTATCGTGATGACTATCGTTCGCGTCGTCGTTCCGGCTCACCTTATCACAGTCGCAATAAAT---T 2424  
 dsRNA: ATAATGATCGCTATCGTGATGACTATCGTTCGCGTCGTCGTTCCGGCTCACCTTATCACAGTCGCAA 218

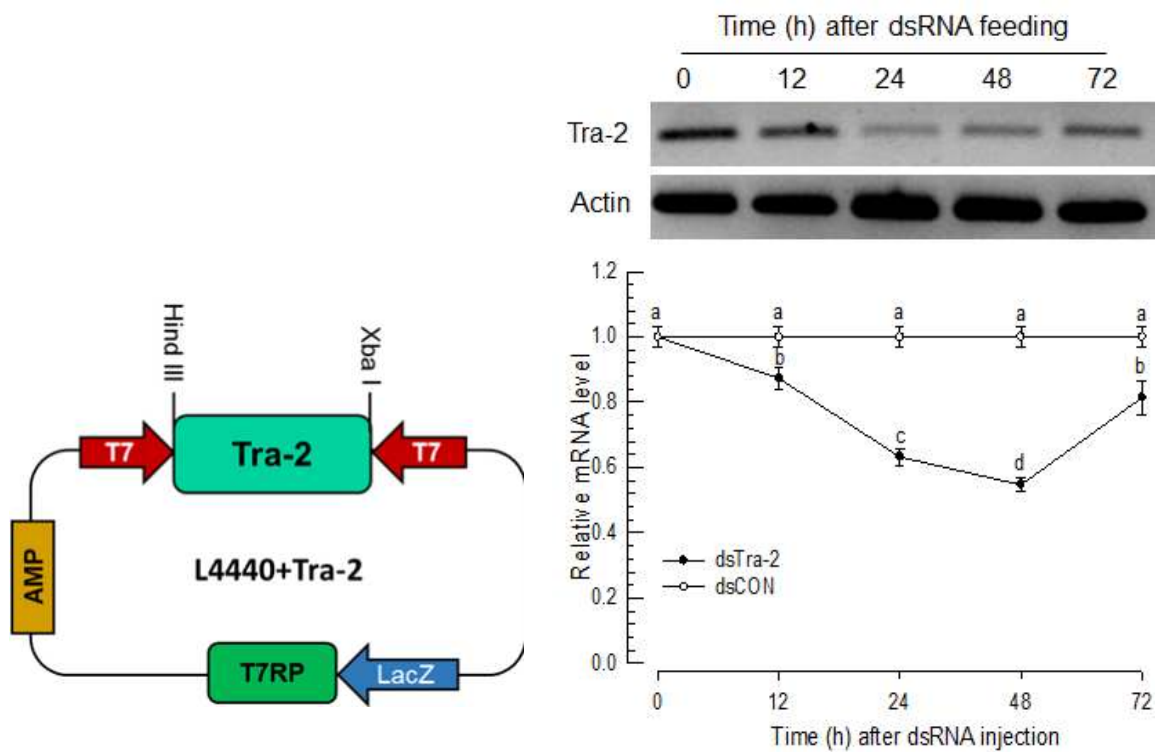
이 Tra-2는 전체 발육단계에서 발현되고 특히 암컷 성충에서 발현량이 높았다.



dsRNA를 제조하여 1령 유충에 150 ng (0.3 µL) 주입하였을 때 약 80%의 발현량이 감소하였다. 반면에 250 mg 먹이에 5 µg dsRNA를 혼합하여 섭식 처리한 결과 약 40%의 발현량 감소를 일으켰다.

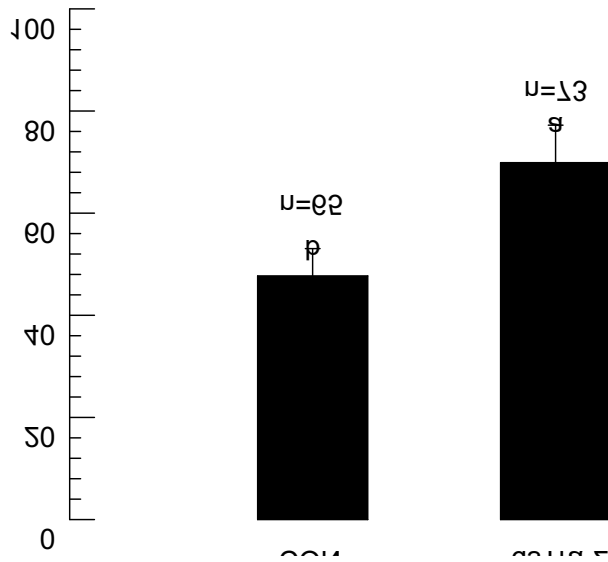


L4440 벡터를 이용하여 HT115 대장균에 dsRNA 발현하게 재조합하였다. 재조합 대장균을  $6.5 \times 10^8$  cells/mL 농도로 증식시켰다. 이 세균 용액 10  $\mu$ L (dsRNA 농도는 ~250 ng)를 50 mg의 인공사료에 혼합하여 유충에 섭식시켰다. 이때 Tra-2 유전자의 발현은 40% 이상 감소하였다.



이때 발육된 호박꽃과실파리는 대조구가 45%의 수컷 비율을 보인 반면에 dsRNA 처리구는 거의

의 68%의 수컷 출현을 보여 약 50% 이상의 수컷 비율 증가를 보였다.



## 제2절 불임충 제조 및 방사 기술

### 요약

호박꽃과실파리(*Zeugodacus scutellata*)는 국내 자생하지만 국제적으로는 검역 대상의 과실파리 가운데 하나이다. 불임충방사기술(sterile insect release technique (SIT))은 검역 대상 과실파리를 박멸하는 데 이용되어 왔다. 본 연구는 호박꽃과실파리를 대상으로 불임충 제조 기술을 개발하여 SIT 기술로 이 해충에 대한 방제 가능성을 분석하였다. 이에 앞서 먼저 형광현미경 기술로 호박꽃과실파리의 생식계를 관찰하였다. 다영양실형 난소소관을 갖는 1 쌍의 난소는 약 100개의 난포를 발달시키며, 각 난포는 난모세포와 영양세포를 지니며 난포세포가 둘러싸는 구조를 지닌다. 난소 발육은 우화 후 10일이 지나 발육을 시작하고 우화 후 20일이 되면 난각을 지난 난모세포를 발달시켰다. 수컷의 경우 성숙된 정소가 우화 직후에 관찰되었으며 수정관에는 운동성이 있는 정자를 포함하였다. 불임 수컷을 제조하기 위해 다양한 선량(0~1,000 Gy)의 전자빔을 3~5일 경과된 번데기에 조사하였다. 200 Gy 세기 전자빔으로 번데기에 조사하면 무처리와 차이 없이 성충으로 발육하였고 이후 정상 암컷과 교미행동을 보였다. 비록 이들 처리 수컷의 교미는 무처리 수컷과 비교하여 큰 차이 없는 산란력을 보이지만 산란된 알들은 부화하지 못했다. 다음으로 200 Gy 조사로 형성된 불임 수컷을 정상 암컷과 수컷이 함께 있는 장소에 방사하였다. 이때 불임충 수컷은 정상 수컷에 비해 9배 많은 수로 방사하였다. 이러한 불임충 처리는 차세대 부화율을 현격하게 감소시켰다. 이상의 결과는 200 Gy 세기의 전자빔으로 호박꽃과실파리의 불임충을 제조할 수 있고, 이렇게 형성된 불임충은 SIT 방제에 적용할 수 있다는 것을 제시하고 있다.

**검색어:** 유전방제, 불임충방사기술, 전자빔, 정자, 난모세포, 호박꽃과실파리

## 서론

기후변화와 국제 무역량 증가는 국내에 없는 새로운 해충의 출현을 야기하고 있다(Lyu and Lee, 2017). 특별히 동남아시아를 중심으로 널리 분포하고 있는 과실파리는 이러한 환경 변화에 따라 국내로 침입하여 들어올 가능성이 매우 높다(Kim and Kim, 2016). 이는 우리나라 농림축산검역본부에서 지정한 60 종의 금지해충들 가운데 41 종이 이들 과실파리류가 차지한다는 점에서 과실파리의 위험성을 알려주고 있다(Kim et al., 2017a).

농작물에 큰 피해를 줄 것으로 여겨지는 과실파리는 주로 과실파리과(Tephritidae)에 속한 파리류로서 약 4,400 종 이상을 포함하고 있는 대형 분류군이다(White and Elson-Harris, 1992; Norrbom et al., 1999). 국내에도 90 종의 자생하고 있는 과실파리류가 있는데 Dacinae 아과에 4 종, Phytalmiinae 아과에 4 종, Tephritinae 아과에 39 종, 그리고 Trypetinae 아과에 43 종으로 분류되었다(Han and Kwon, 2010; Han et al., 2014). 이 가운데 농작물에 경제적 피해를 주고 있는 과실파리는 Dacinae 아과에 속한 호박꽃과실파리(*Zeugodacus scutellata*)와 호박과실파리(*Z. depressa*) 등 두 종이다.

호박꽃과실파리는 제주지역을 중심으로 노랑하늘타리(*Trichosanthes kirilowii* var. *japonica* Kitam)에서 자생하지만, 전국적으로는 호박에 피해를 주고 있다(Kim et al., 2017b). 호박의 열매보다는 꽃을 가해하나 암꽃 피해(30.7%) 보다는 수꽃 피해(53.8%)가 더 큰 것으로 보고되었다(Kim et al., 2010). 호박꽃과실파리 성충은 월동세대를 포함하여 연 4 회 이상 발생하는 것으로 추정되고 있다(Al Baki et al., 2017; Kim et al., 2019). 호박꽃과실파리는 화분매개충으로 식물체 유래의 시노몬인 raspberry ketone (4-(4-Hydroxyphenyl)-2-butanone)에 유인되는 것을 이용하여 보다 안정된 화합물인 Cuelure (CL: 4-(4-Acetoxyphenyl)-2-butanone)를 합성하여 야외 연중 발생 모니터링에 이용하고 있다(Kim et al., 2012, 2017b).

호박꽃과실파리 유충은 호박꽃 내부에 서식하기 때문에 살포용 약제에 노출되지 않아 방제에 어려움을 주고 있다. 따라서 이 해충의 방제는 야외 노출된 발육 시기인 성충을 방제 대상으로 여겨졌다(Kim et al., 2017b). 예를 들어, 이들 유사한 수컷 과실파리류가 보이는 교미 전에 무리행동(lekking)과 화합물섭취(pharmacophagy) 습성(Hee and Tan, 2004)을 이용하여 CL에 살충제를 혼합하여 수컷박멸기술(male annihilation technique: MAT)이 호박꽃과실파리 방제에 적용되었다(Kim et al., 2017b). 또한 많은 과실파리 암컷의 경우는 알을 만들기 위해서는 먹이를 통해 영양원의 공급을 받아야 하는 영양의존형(anautogenic) 생식을 보이는 데(Drew and Yuval, 2000), 이를 이용하여 단백질성 유인물질에 살충제를 혼합하여 암컷박멸기술(female annihilation technique: FAT)이 terpinyl acetate를 첨가하여 개발하였다(Kim and Kwon, 2018).

국내로 검역 대상 과실파리가 침입할 경우 수컷 및 암컷박멸기술을 이용하여 방제기술을 적용하지만, 궁극적으로는 박멸효과를 얻기 위해서는 불임충방사를 통한 유전방제기술이 적용될 수 있다(Kim et al., 2018). 이러한 불임충방사기술(sterile insect release technique: SIT)은 방사선 조사에 의해 수컷을 불임화시키고 이를 야외에 방사시켜, 야생 암컷과 교미하게 하여 무정난을 형성하게 하는 방제 전략에 기초하고 있다(Knipling, 1955). 과실파리 방제에 이 SIT 방제기술이 다양한 지역에서 적용되었다. 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*)의 경우 불임 수컷을 제조하는 데 방사선을 이용하였는데 간략히 소개하면 우화하기 2 일 전에 저산소 조건에서 번

데기를 방지하고 100 Gray (Gy)의 선량으로 조사하였다(Shelly et al., 2010). 이렇게 얻어진 불임충은 공중에서 또는 지상에서 오리엔탈과실파리가 발생한 지역에 방사된다. 예를 들어, 미국 하와이에서 실시된 SIT의 경우는 약 8 개월간(2005년 2월 2일~9월 29일) 매주 99,600~595,800 마리가 방사되어 총 11,556,000 마리가 투입되었다(Vargas et al., 2010). 그러나 불임충을 제조하는 데 방사선을 이용하는 경우 방사선 방출물질에 대한 위해성이 거론되어, 이를 해결하기 위해 X 선과 같은 비교적 안전한 불임충 유도 기술이 개발되었다(Mastrangelo et al., 2010). 국내에서는 전자빔을 이용하여 수확 후 농작물에 영향을 주는 식물병원미생물을 사멸하는 기술이 개발되어(Kwon et al., 2014) 이를 이용한 비교적 안전한 불임충 제조 기술 개발 가능성이 제기되어 왔다.

본 연구는 향후 국내로 유입될 검역 과실파리 방제를 대비하여 국내에 자생하는 호박꽃과실파리에 대해서 SIT 기술의 적용 가능성을 검정하였다. 이를 위해 먼저 호박꽃과실파리의 생식 발달 과정을 분석하여 난모세포 및 정자의 발달을 성충 발육 시기별로 분석하였다. 이후 불임충 수컷을 제조하기 위해 여러 선량의 전자빔을 조사하여 합리적 불임충 유도 선량을 결정하였다. 궁극적으로 이렇게 제조된 불임 수컷을 간이 모형 상자를 이용하여 불임충을 방사하고 차세대 형성과정을 모니터링하였다.

## 재료 및 방법

### 공시충 사육

제주 지역에서 자생하고 있는 노랑하늘타리 꽃에서 호박꽃과실파리 유충을 채집하였다. 수거된 유충은 호박꽃을 먹이로 실내 조건(온도 24~27°C, 광주기 16:8 h (L:D), 상대습도 60~80%)에서 증식되었다. 노숙 유충 시기에 먹이 주변에 상토를 투입하여 용화를 유도하였으며, 우화된 성충은 인공사료(이스트추출물: 전지분유: 설탕: 물 = 2: 2: 4: 1, g/g)와 물을 공급받았다.

### 난모세포 및 정자 구조의 형광현미경 관찰

형광물질을 이용한 세포 구조 관찰을 위해 fluorescein isothiocyanate (FITC)-tagged phalloidin을 Sigma-Aldrich Korea (서울, 한국)에서 그리고 4',6-diamidino-2-phenylindole (DAPI)는 Thermo Fisher Scientific (Rockford, IL, USA)에서 각각 구입하였다.

성충의 난소 또는 정소 발육을 분석하기 위해 미교미 암수를 상기 사육 조건에서 우화 이후 발육시기별(0~30 일)로 임의로 얻었다. 해부현미경(Stemi SV11, Zeiss, Germany)에서 암수로 부터 각각 난소와 정소를 100 mM 인산완충용액(phosphate-buffered saline (PBS), pH 7.4)을 이용하여 적출하였다. 형광분석을 적용하기 위해 난소와 정소를 각각 3.7% paraformaldehyde 에서 60분 동안 실내온도 및 암 조건에서 조직을 고정하였다. PBS로 3 회 세척 후에 이들 조직을 PBS에서 0.2%의 농도로 용해된 Triton X-100을 이용하여 20 분간 실내온도에서 반응시켰다. 다시 PBS로 3 회 세척 후 5% skim milk (MB cell, Seoul, Korea)로 실내온도에서 60 분간 반응시켰다. 다시 PBS로 세척 후 FITC-tagged phalloidin으로 실내온도에서 1 시간 동안 반응시켰다. 다시 PBS로 3 회 세척 후 DAPI (1 mg/mL)로 실내온도에서 2 분간 핵을 염색시켰다.



다. 다시 PBS로 3 회 세척 후에 염색된 세포를 형광현미경(DM2500, Leica, Wetzlar, Germany)을 이용하여 200 배의 배율에서 관찰하였다.

## 전자빔 조사 기술

실내 조건(25°C)에서 용화된 지 5~6 일 경과된 호박꽃과실파리 번데기를 대상으로 전자빔이 조사되었다. 상이한 선량의 방사선 조사는 충북 음성에 소재한 (주) 서울방사선 회사에 소재된 전자빔 기기(MB10-8/635, Mevex, Stittsville, Ontario, Canada)를 이용하였다.

## 전자빔 조사층의 우화율 분석

호박꽃과실파리가 용화된 지 3~5 일 경과 후에 다양한 세기의 전자빔을 조사한 후 앞에서 기술한 실내 조건에서 발육하게 하였다. 각 방사선 처리는 3반복으로 하였으며 각 반복은 10 마리의 번데기를 이용하였다. 매일 우화수를 계수하여 처리 후 15 일간 총 우화된 마리수로 비교 분석하였다.

## 전자빔 조사층의 성충 수명 조사

다양한 선량으로 방사선 처리 한 후 얻어진 암컷 및 수컷을 대상으로 각각 용기(지름 11.5 cm × 높이 8 cm)에 넣고 성충 먹이와 물을 3~4 일 마다 교체하며 제공하였다. 사육 조건은 온도 24~28°C, 습도 60~80%, 광주기15L: 9D였다. 각 처리는 10-21 마리로 반복하였다. 치사는 자의 적 활동이 없는 것으로 판정하였다.

## 전자빔 조사층의 성충 교미율, 산란수 및 부화율 분석

상이한 선량으로 조사하여 얻어진 수컷을 대상으로 무처리 암컷과 1쌍씩 용기(지름 11.5 cm × 높이 8 cm)에 넣고 성충 먹이와 물을 제공하였다. 먹이와 물은 3~4 일 마다 교체하였다. 암컷이 산란할 수 있도록 호박꽃대나 호박꽃을 제공하였다. 매일 교미 및 산란 행동 유무를 관찰하였다. 사육 조건은 온도 24~28°C, 습도 60~80%, 광주기15L: 9D였다. 각 처리는 5 반복하였다. 산란 여부는 꽃대를 분해하여 유관으로 확인하였다. 알은 페트리디쉬(지름 9 cm × 높이 3 cm)에 옮겨 부화유무를 관찰하였다.

## 전자빔 조사층의 수컷 방사 기술 및 차세대 형성 능력 분석

호박꽃과실파리 번데기에 200 Gy의 전자빔을 조사한 후 일정 크기의 상자(40 × 40 × 40 cm)에 불임 수컷을 36 마리, 무처리 수컷을 4 마리로 넣고 여기에 무처리 암컷을 4 마리 방사하였다. 무처리구의 경우 무처리 수컷을 40 마리와 무처리 암컷 4 마리를 방사하였다. 방사 이후 매일 사망 숫자를 확인하였으며 산란된 알을 수거하여 산란수 및 부화율을 분석하였다.

## 통계분석

우화율에 대한 생물검정 결과는 백분을 자료로서 arsine 변환 후 SAS PROC GLM (SAS Institute, 1989)을 이용하여 ANOVA 분석 및 처리 평균간 비교를 실시하였다. 반면에 교미율 및 부화율과 같은 빈도자료는 PROC FREQ를 이용하여 빈도분석의 독립성 검정을 실시하였다.

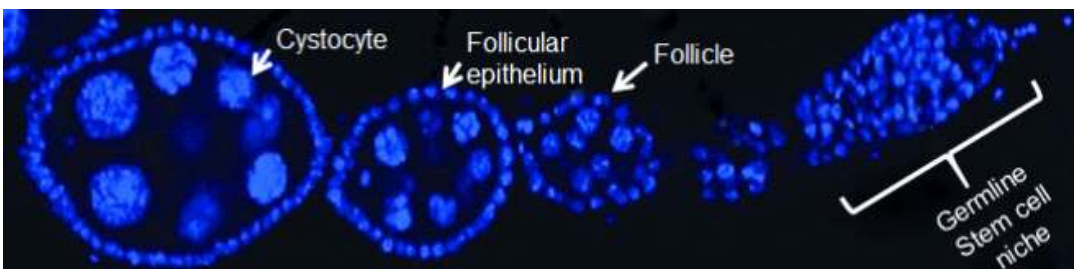
## 결과

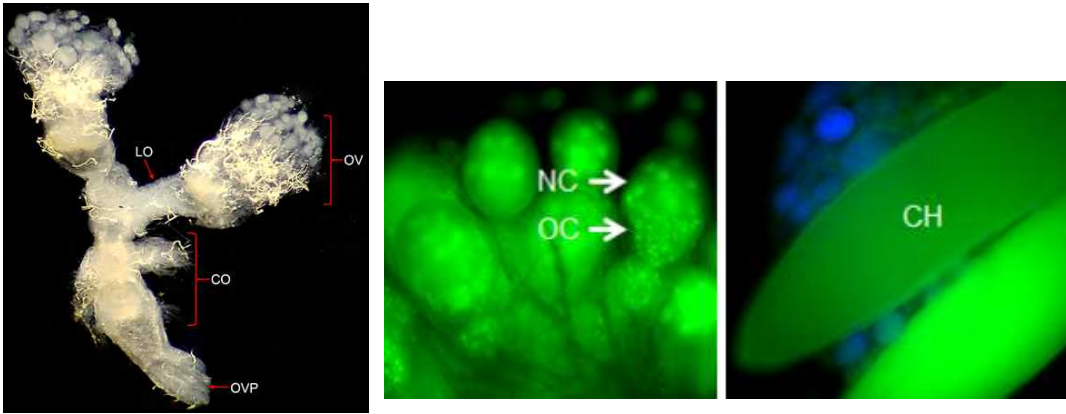
### 호박꽃과실파리 성충 생식기관 발달

호박꽃과실파리의 난소 및 정소 발육을 분석하기 위해 핵과 세포질을 각각 DAPI (파란색) 및 phalloidin (초록색)으로 염색하면서 관찰하였다(Fig. 1). 각 난소는 약 50 개의 난소소관으로 이루어져 있다. 각 난소소관은 말단부위는 배아줄기세포(germline stem cell)가 존재하였으며, 이를 기반으로 난포(follicle)가 분화되었다(Fig. 1A). 초기 난포는 난포세포(follicular epithelium)로 둘러싸이고 포낭세포(cystocyte)로 포낭아세포(cystoblast)에서 분열된 모습을 지니고 있다. 난소발육이 진행함에 따라 포낭아세포는 난모세포(oocyte)와 영양세포(nurse cell)로 분화하게 된다. 이후 다자란 난모세포는 난각(chorion)에 둘러싸이게 된다.

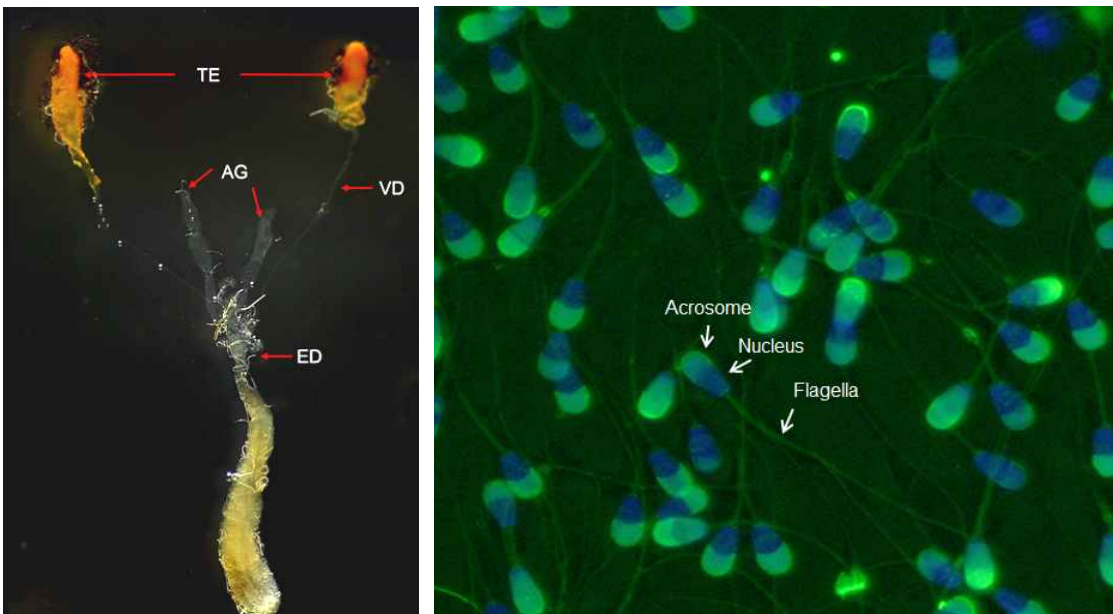
정소는 1 쌍으로 존재하고 각각의 긴 공통수정관(vas deferens)이 사정관(ejaculatory duct)에서 모이게 된다(Fig. 1B). 이때 부속샘(accessory gland)이 다시 사정관에 연결된다. 정소의 기부에 존재하는 측수정관(vas efferens) 부위를 통해 발육된 정소를 형광현미경으로 관찰하였다. 각 정자는 머리와 긴 꼬리를 가지고 있으며, 머리 부위에는 DNA가 존재하는 핵 부위와 말단 부위에 첨체(acrosome)가 관찰되었다.

(A)





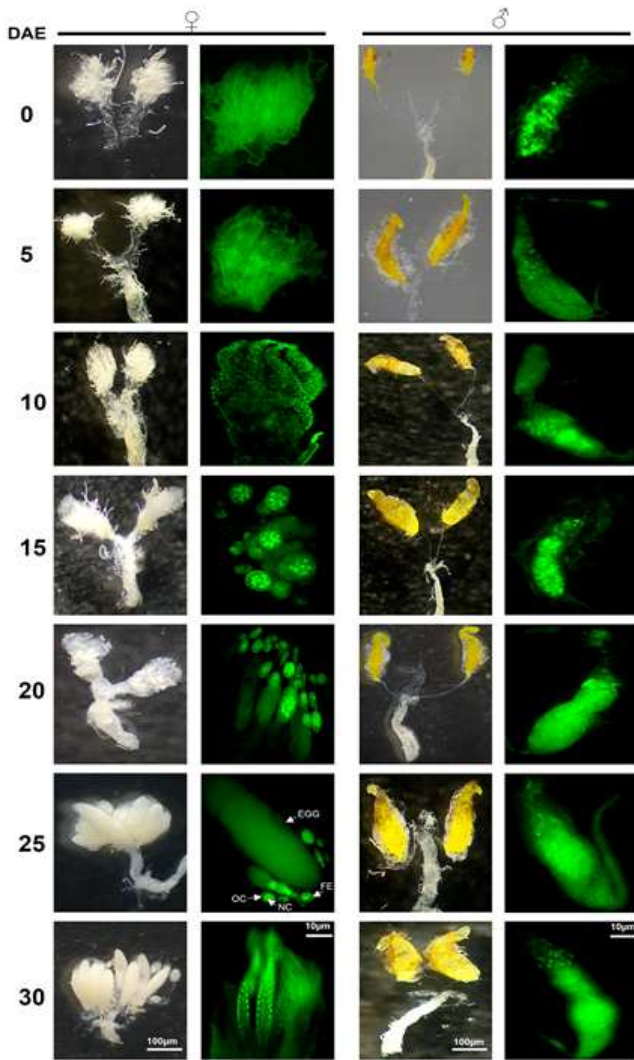
(B)



**Fig. 1.** Internal reproductive systems of *Z. scutellata* and oocyte and sperm development. Green and blue colors in fluorescence are stained with FITC against F-actin and DAPI against nucleus. (A) Female reproductive system. Overall female internal organ includes ovary ('OV'), lateral oviduct ('LO'), common oviduct ('CO'), and ovipositor ('OVP'). Distal region of ovariole was stained with DAPI to demonstrate the follicle development. FITC staining indicates nurse cell ('NC'), oocyte ('OC'), and chorionated oocyte ('CH'). (B) Male reproductive system. Overall male internal organ includes testis ('TE'), vas deferens ('VD'), accessory gland ('AG'), and ejaculatory gland ('ED'). Sperms are extracted from proximal region of testes. Scale bar represents 10  $\mu$ m.

우화 후 일정 기간별로 난소와 정소의 발달과정을 관찰하였다(Fig. 2). 우화직후의 난소는 아직 난소소관이 분화되지 않은 형태로 다수의 기관지가 각 나소 부위에 모여 있는 형태로 존재하였다. 우화 후 10 일이 지나면 난소의 비대 성장이 관찰되었으며 15 일이 경과하면 난소소관의 발달을 관찰할 수 있었다. 우화 후 20 일이 경과하면 다수의 난모세포가 난황형성과정을 진행하고 있지만 일부 난모세포는 난각을 지닌 알의 모습을 형성하기 시작하였다. 우화 후 25일 이후에는 대부분의 난소소관은 완전히 발달된 알 구조를 지니고 있어 언제든지 산란이 가능한 모습을 보였다. 정소는 우화 직후부터 완전한 정소 구조를 지녔으며 내부에도 다수의 DNA 염색 구조물을 지니는 것이 관찰되었다. 이러한 모습은 우화 후 30 일까지 관찰하면서 유사한 구조를 나타

냈다.

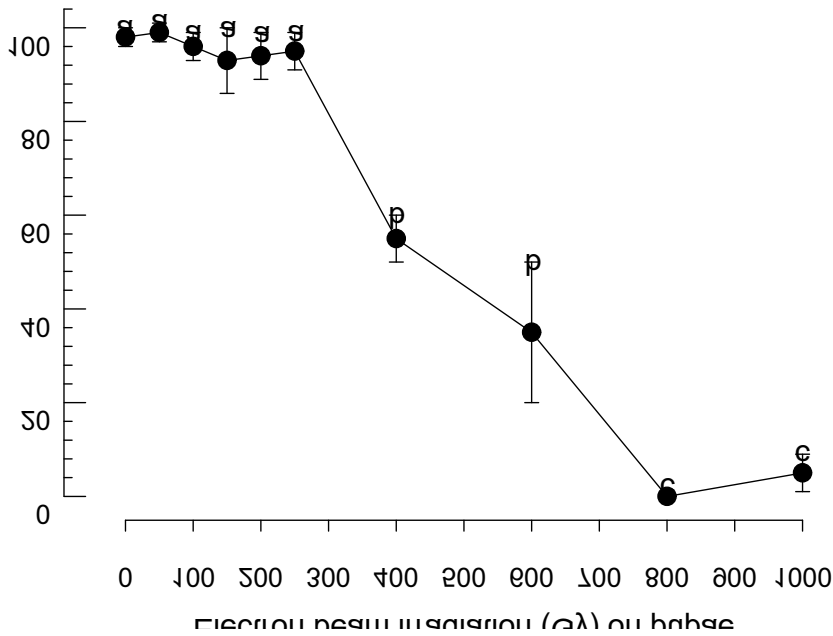


**Fig. 2.** Ovary and testis development of *Z. scutellata* after adult emergence. These organ were isolated at 0~30 days after emergence ('DAE'). Overall development was observed under a dissecting microscope at 50 x magnification. Fluorescence microscope was used to observed FITC staining against F-actin at 200 x magnification. In 25 DAE, oocyte structure shows nurse cell ('NC'), oocyte ('OC'), and follicular epithelium ('FE'). Scale bars in dissecting microscope photos represent 10 µm. Scale bars in fluorescence photos represent 10 µm.

### 호박꽃과실파리 불임 수컷 제조

호박꽃과실파리의 불임 수컷을 형성하기 위해 번데기에 여러 선량의 전자빔을 조사하였다(Fig. 3). 이후 성충의 우화를 관찰하여 전자빔이 호박꽃과실파리에 번데기 발육에 미치는 영향을 분석하였다. 전자빔의 선량이 증가하면서 우화율이 현격하게( $F = 28.29$ ;

df = 8, 31;  $P < 0.0001$ ) 낮아지는 현상을 나타냈다. 특별히 400 Gy 이상에서는 번데기 발육에 심각한 영향을 주어 성충으로 우화를 억제하였다. 그러나 250 Gy까지 처리하면 성충으로 발육하는 데 무처리와 차이가 없는 것으로 나타났다. 반수치사 전자빔의 조사 선량은 약 503 Gy로 추정되었다.



**Fig. 3.** Effect of electron beam irradiation on adult development. Pupae at 3-5 days old after pupation were exposed to electron beam at different doses. Each treatment was replicated three times. Each replication used 10 pupae. Different letters above standard deviation bars indicate significant difference among means at Type I error = 0.05 (LSD test).

상이한 선량의 전자빔 처리를 통해 발육된 수컷 성충의 수명을 분석하였다(Fig. 4). 무처리 수컷의 경우 최대 약 5 개월 이상 수명을 나타내는 반면 전자빔을 처리하면 수컷 성충으로 우화하여도 성충 수명이 감소하는 현상을 나타냈다. 이러한 수명 단축 현상은 전자빔 선량이 증가하면서 뚜렷이 나타났다. 200 Gy로 처리한 수컷은 대부분 3 개월까지는 무처리와 유사한 생존율을 나타냈다.

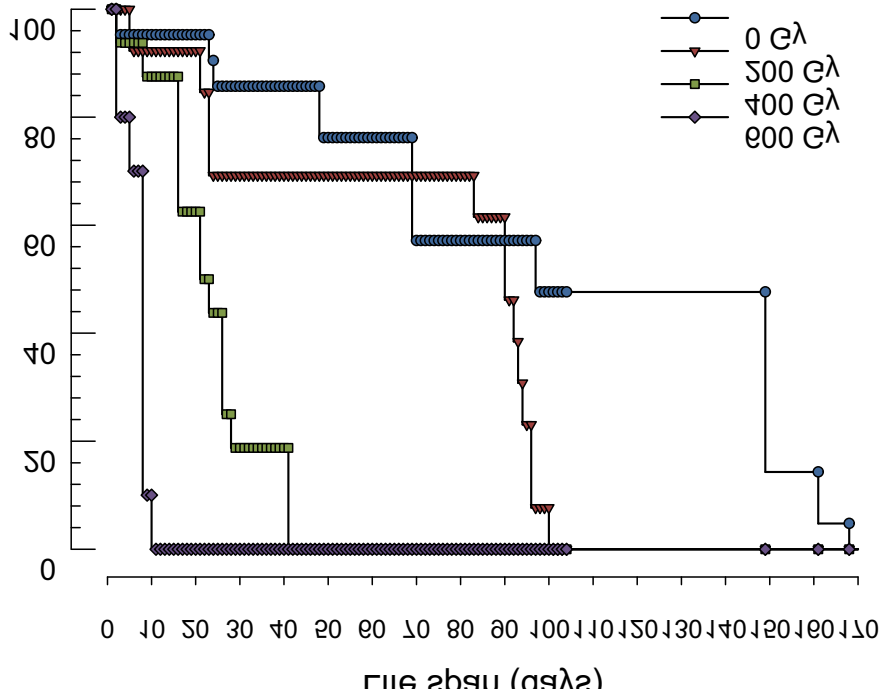
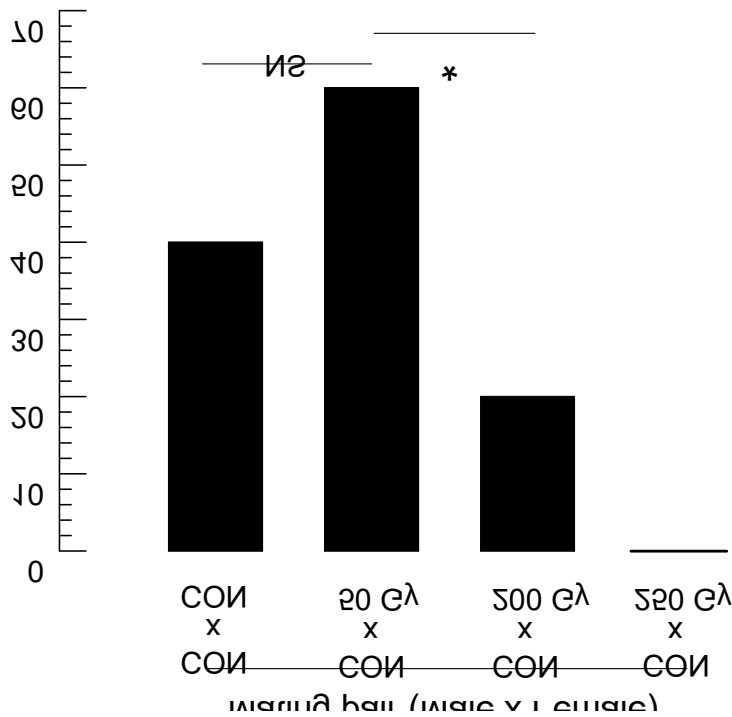


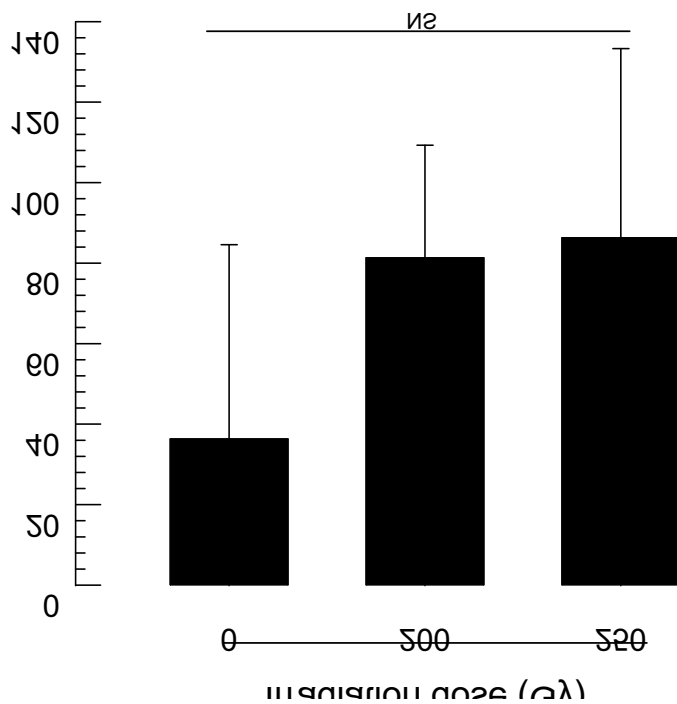
Fig. 4. Different doses of electron beam irradiation on pupae of *Z. scutellata* and their effect on male adult life span. The assays used 21 males for 0 Gy, 12 males for 200 Gy, 16 males for 400 Gy, and 10 males for 600 Gy.

전자빔 처리 선량 별 무처리 암컷과 교미하는 비율을 비교하였다(Fig. 5). 무처리 수컷의 경우 약 50%의 교미율을 나타낸 반면 50 Gy와 200 Gy 선량으로 처리 수컷의 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 250 Gy 처리된 수컷의 경우는 교미율이 크게 감소하였다.



**Fig. 5.** Effect of electron beam irradiation on subsequent adult mating behavior. Pupae at 3~5 days old after pupation were exposed to electron beam at different doses. Emerged males from the irradiation treatment were mixed with untreated ('CON') females. Each treatment was replicated five times. Each replication used one pair of male and female adults. Asterisk indicates significant difference among means in comparison at Type I error = 0.05 (LSD test). 'NS' represents no significant difference.

전자빔으로 처리된 수컷과 교미한 암컷의 산란력을 무처리 수컷과 교미된 암컷과 비교하였다(Fig. 6). 무처리 수컷과 교미한 암컷의 경우 약 50 개의 알을 산란하였고, 200 Gy 선량으로 처리된 수컷과 교미한 암컷도 이와 유사한 숫자의 산란력을 나타냈다. 그러나 250 Gy 처리된 수컷과 교미한 암컷의 경우 산란력의 둔화를 나타냈다.



**Fig. 6.** Effect of electron beam irradiation on subsequent adult fecundity, which was measured by the number of laid eggs. Pupae at 3~5 days old after pupation were exposed to electron beam at different doses. Emerged males from the irradiation treatment were mixed with untreated females. Each treatment was replicated five times. Each replication used one pair of male and female adults. 'NS' represents no significant difference among means in comparison at Type I error = 0.05 (LSD test).

전자빔으로 처리된 수컷과 교미한 암컷이 산란한 알들의 부화율을 무처리구와 비교하였다(Fig. 7). 무처리 수컷과 교미한 암컷의 경우 약 90%의 부화율을 기록하였다. 낮은 선량인 50 Gy를 처리한 수컷과 교미하여 얻어진 알을 경우에도 유사한 부화율을 기록하였다. 그러나 200 Gy 이상의 선량으로 처리된 수컷과 교미하여 얻어진 알의 경우는 모두 부화하지 못하였다.



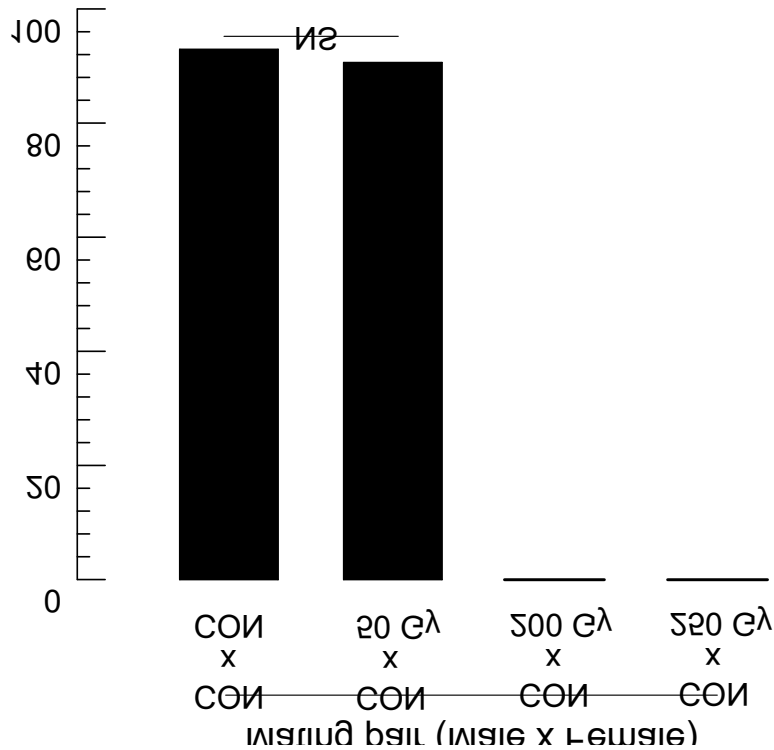
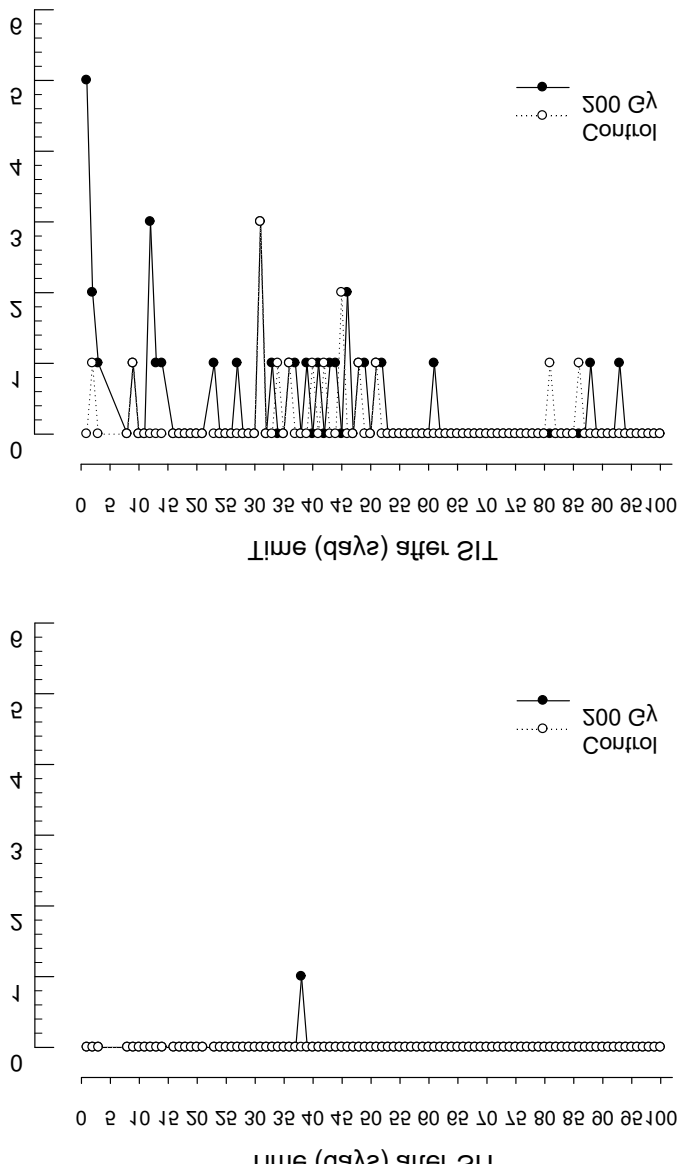


Fig. 7. Effect of electron beam irradiation on egg hatching rate in following generation. Pupae at 3~5 days old after pupation were exposed to electron beam at different doses. Emerged males from the irradiation treatment were mixed with untreated ('CON') females. Each treatment was replicated five times. Each replication used one pair of male and female adults. five times. Each replication used one pair of male and female adults. 'NS' represents no significant difference among means in comparison at Type I error = 0.05 (LSD test).

### 불임수컷방사 및 호박꽃과실파리의 차세대 형성에 미치는 영향

호박꽃과실파리 번데기에 200 Gy의 전자빔을 조사한 후 우화된 수컷 성충을 무처리 수컷 대비 9 배 많은 숫자로 방사하였다. 방사 후 약 3 개월 동안 성충 사망을 계수한 결과 예상대로 불임충 방사한 상자에서는 무처리구에 비해 높았지만, 무처리와 처리구 상자에 있는 암컷의 사망률은 거의 유사하였다(Fig. 8). 이러한 조건에서 불임충을 방사한 상자에서는 약 100 일간 산란수와 부화율을 조사한 결과 무처리구에서는 218 개의 알을 산란하여 암컷 1 마리당 54.5 개의 알을 산란하였다. 반면에 처리구에서는 338 개의 알이 산란되어 암컷 1 마리당 약 84.5 개의 알을 산란하였다. 부화율은 무처리구가 76.6%이고 처리구가 45.9%였다. 그러나 이러한 차이를 시기적으로 나누어 분석하면 방사후 초기 약 2 달간 산란된 알의 부화율을 조사하였을 때 불임 수컷을 방사한 상자에서는 부화율이 12.7%였고, 대조구에서는 77.6%였다(Fig. 9). 그러나 방사 후 2 개월이 지

나면 처리구에서도 부화율이 높아져 무처리와 큰 차이를 보이지 않았다.



**Fig. 8.** Daily survival of electron beam (200 Gy)-irradiated males (36 individuals) in mating arena (40 × 40 × 40 cm) with untreated females (4 individuals) under competition with untreated males (4 individuals). During this period, only one female was dead in treated group (low panel).

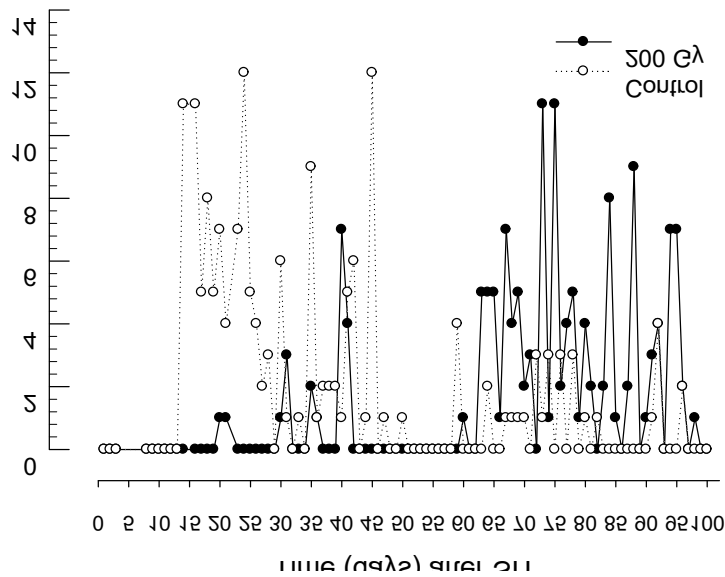
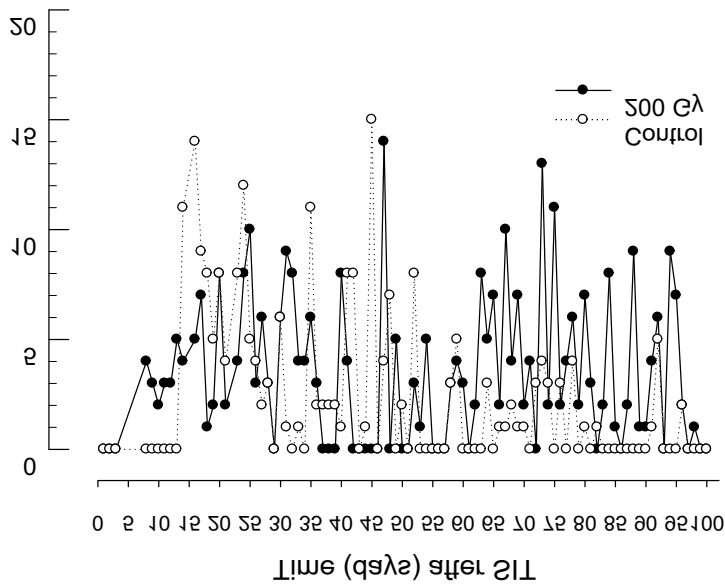


Fig. 9. Influence of release of sterile males (SIT) on fecundity (upper panel) and fertility (lower panel) in subsequent generation of *Z. scutellata*. The electron beam (200 Gy)-irradiated males (36 individuals) were released to a mating arena (40 × 40 × 40 cm) containing untreated females (4 individuals) and untreated males (4 individuals). The same sized control box contained untreated females (4 individuals) and untreated males (40 individuals). Daily laid eggs were incubated for 10 days to measure their fertility. Numbers of laid eggs and hatching larvae were calculated per female.

### 고찰

국내로 침입하는 외래 해충에 대해서 조기 모니터링과 박멸프로그램은 국내 농산물 보호라는 검역의 기본적 방향이다. 주요 금지급 과실파리에 대한 모니터링 유인물질이

개발되어 이용되고 있다. 국내에서도 주요 금지급 과실파리에 대한 유인물질의 제형화를 이루고 이를 외국 현지에서 모니터링 능력을 실증하여왔다. 박멸프로그램으로 MAT 및 FAT 기술이 개발되어 국내 호박꽃과실파리를 대상으로 실증 시험을 진행하였다. 그러나 비교적 여러 지역에서 금지급 과실파리 침입에 대해서 박멸기술로 알려진 SIT에 대해서는 국내에서 진행된 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 국내 자생하는 호박꽃과실파리에 대해서 SIT 기술 적용을 검토하고 향후 금지급 과실파리에 대해서 본 기술을 바탕으로 적용하려 하였다.

SIT 기술 개발에 앞서 호박꽃과실파리의 체내 생식 생리과정을 분석하였다. 암컷의 경우 1쌍의 난소는 약 50 개의 난소소관을 지니고 있었다. 각 난소소관은 말단에 생식세포 줄기세포들이 관찰되었으며, 이로부터 난포가 연속적으로 성장되어지는 모습을 띠었다. 각 난포는 이를 둘러싸는 난포세포와 내부에 영양세포 및 난모세포로 분화되어 있었다. 즉, 호박꽃과실파리는 전형적인 다영양실형(polytrophic) 난소소관을 지니고 있다. 난모세포의 분화는 줄기세포로 분화되는 난황형성전단계(previtellogenesis), 이후 난모세포가 비대하여지는 난황형성과정(vitellogenesis), 그리고 난모세포를 둘러싸는 난각을 형성하는 난각형성과정(choriogenesis)가 모두 암컷 성충의 나이가 진행됨에 따라 관찰되었다. 우화 이후 약 20 일이 경과되면 난각을 지닌 난모세포가 형성되어 기본적으로 산란의 준비가 된다고 볼 수 있다. 즉, 환경 온도에 따라 다르겠지만 25°C 조건에서 호박꽃과실파리는 산란전기간이 약 20 일로 추정된다. 호박꽃과실파리의 1쌍의 정소는 공통수정관(vas deferens)을 이어 사정관으로 이어지는 구조를 지녔다. 이러한 모습은 우화 직후의 수컷에서도 관찰되었다. 또한 이 시기에 측수정관(vas efferens)에 해당되는 부위를 절단하여 내부 물질을 모아보면 성숙된 정자 모습을 관찰할 수 있었다. Guillén et al. (2016)은 지중해과실파리를 대상으로 생식력이 있는 수컷의 형태적 기준을 완전히 발달된 정소의 모습 그리고 정자분화과정(spermatogenesis)의 가동으로 제시하였다. 이러한 기준에서 보면 생리적으로 호박꽃과실파리 수컷은 우화 직후에 교미할 준비되어 있을 것으로 추정된다.

SIT 기술을 개발하기 위해 효과적인 불임충 수컷을 제조하는 기술을 개발하여야 한다. 다양한 방사능 에너지를 방사하는 기기가 존재한다. 본 연구는 전자빔을 이용하여 불임충을 유도하였다. 5~10 MeV의 에너지를 갖는 전자빔은 세포의 DNA 이중 나선구조를 절단하는 작용과 수분 등을 전리시켜 라디칼을 형성하는 간접적인 작용 등에 의해 균을 사멸시킨다(Kwon et al., 2014). 다양한 선량으로 조사한 결과 250 Gy 보다 높은 선량에서는 번데기 발육에 심각한 피해를 주어 우화율이 낮아졌다. 반면에 250 Gy 이하에서는 선량 증가에 따라 무처리 암컷과 교미율 및 성충 수명이 감소하여 250 Gy에서는 매우 낮은 교미율과 짧은 수명을 보였다. 반면에 200 Gy는 비록 교미율은 낮아지지만, 우화 후 일정 기간 동안 교미하는 암컷의 산란수에 영향을 주지 않은 것으로 미뤄 정상적 교미가 이뤄졌다고 판단되었다. 더욱이 조사 받은 성충이 비교적 3 달간은 대조구와 차이 없이 성충 수명을 유지하는 것으로 나타났다. 흥미로운 사실은 200 Gy 처리 수컷

과 교미한 정상 암컷에서 산란된 알은 전혀 부화되지 않았다. 다른 과실파리의 불임충 유도에 100 Gy 정도를 이용하는 것(Yusof et al., 2019)에 비해 호박꽃과실파리의 불임충 유도에 비교적 높은 에너지가 투입된다는 것을 알 수 있다. 이러한 차이는 곤충 종에 따른 차이보다는 기존의 다른 과실파리에 이용된 방사능 조사가 비교적 에너지가 높은 감마선을 이용한 데에서 비롯된 것으로 사료된다. 방사능 조사에 따른 수명 및 교미행동의 변화가 수명과 교미 행동에 관련된 분자 구조의 변화를 일으켰다는 연구가 방사선 처리 받은 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*)에서 단백질체학 분석을 통해 나타났는데, 이는 처리 받은 수컷의 경우 35 개의 단백질의 발현이 교란되었고 이들은 주로 에너지 대사 및 페로몬 감지관련 단백질인 것으로 판명되었다(Chang et al., 2015).

불임충 수컷이 200 Gy 크기의 전자빔 조사로 형성되었고, 이들이 실제로 차세대집단 형성에 영향을 주는 지를 간이 실험으로 증명되었다. 정상 암수가 존재하는 사육 상자에 정상 수컷의 9 배의 밀도로 불임충 수컷을 방사하였고, 이를 통해 차세대 형성되는 초기 2 개월 동안 산란된 알들이 대조구에 비해 현격하게 낮은 부화율을 기록하였다. 만약 처리구에 정상 수컷이 없었더라면 모든 산란된 알이 부화하지 못하였을 것이라는 앞의 결과를 토대로 9 배 많은 불임충이 정상 수컷과 임의로 교배하면 부화율은 10%가 나올 것으로 예상되었다. 흥미롭게도 초기 2 개월간 나온 알들은 12.7%의 부화율을 기록하였다. 이는 기대치와 매우 근접된 결과로 해석된다. 그러나 이 이후에는 처리구에서 부화율이 급격하게 올라가 대조구와 유사하게 나타나는 것으로 미뤄 불임충이 정상 수컷에 비해 짧은 수명을 고려하여 보면 이 후반기에는 불임충의 교미능력이 현격하게 떨어진 것으로 추정된다. 즉, 방사 후 2 개월 이내에 재 방사가 이뤄져야 더욱 효과적 방제 효과를 거둘 수 있는 것으로 해석된다.

호박꽃과실파리를 포함한 *Dacus* 아과에 속한 여러 과실파리 종들이 난초과(Orchidaceae) 꽃에서 분비되는 이차대사산물에 유인되어 lekking이라는 특이적 집단 교미행동을 보이기 때문에 방사된 불임충과 야외충이 충분한 혼합될 가능성을 기대할 수 있어 SIT 기술이 이들 과실파리류 방제에 매우 효과적일 것으로 예견되었다(Benelli et al., 2014, 2015). 실제로 미국 하와이와 호주의 과학자들은 북부 마리아나 군도의 Rota 섬에 서식하는 오이과실파리(*Zeugodacus cucurbitae*) (Steiner et al., 1965), 호주의 퀸즐랜드과실파리(*B. tryoni*) (Andreawartha et al., 1967), 마이크로네시아의 오리엔탈과실파리(Steiner et al., 1970), 하와이의 지중해과실파리(*Ceratitidis capitata*) (Harris et al., 1986)를 완전박멸하기 위해 SIT 기술을 적용하였다. 일본에서도 침입한 오이과실파리를 박멸하는 데 SIT를 이용하였다고 보고하였다(Koyama, 1996). 태국의 경우 오리엔탈과실파리를 대상으로 SIT가 지속적으로 적용되어 전체 집단의 크기를 낮추는 데 지대한 효과를 주었다(Aketarawong et al., 2011). 그러나 SIT 기술의 단점은 대량사육과 이어진 방사선 조사를 통한 수컷 성충의 교미능력 저하 및 수명 단축이다(Barry et al., 2003). 이러한 유전방제 기술의 단점을 보완하기 위해 또 다른 개념으로 제2차 성징을 나타내는 성결정 시기에 암수에 특징적 전사후과정이 일어나는 transformer 유전자에

대한 조작 기술이 우성치사유전자를 지닌 곤충방사(release of insects carrying a dominant lethal: RIDL)의 하나의 전략으로 제기되었다(Alphey, 2002; Fu et al., 2007). 지중해과실파리에 대해서 적용된 암컷치사 RIDL은 간이 모형실험에 성공적 박멸 효과를 줄 수 있다고 이를 입증하였다(Leftwich et al., 2014). 그러나 이 기술은 piggyBac이라는 트랜스포존(transposon)에 의존하여 제작된 형질전환 곤충을 방사한다는 점에서 생태계 유전자 교란이라는 여러 우려를 나타내기에 실제로 야외에 이러한 곤충을 방사하기는 어려울 것으로 예상된다.

본 연구는 “proof-of-principle”의 접근법으로 이러한 SIT 기술이 이론적으로 과실파리의 박멸에 이상적이라는 해충 방제 기술로 이해되고 있는 바를 국내에 자생하는 호박꽃과실파리에 적용하여 이에 대한 실증성을 입증하는 데 연구력을 모았다. 이를 통해 향후 국내로 침입할 검역 대상 과실파리에 대해서 적용 가능한 기술로 응용되기를 기대하고 있다.

# 제12장 과실파리 번데기 방제 기술

## 1. 번데기 방제 약제 스크리닝

호박꽃과실파리 번데기에 토양 살충제 처리. 뚜껑에 80×60mm의 구멍을 내고 망을 씌운 사육통(210×160×119)에 상토 500ml에 처리 농약을 넣고 손으로 골고루 섞은 다음 호박꽃과실파리 번데기를 상토 속에 묻어주었다. 각 처리는 15개체씩 3반복 처리하였다. 처리 당일은 농약에 냄새가 너무 심하여 비닐온실에 두었다. 다음날부터 사육실(24~27°C, 습도 60~80%)에 옮겨 놓고 모두 우화할 때까지 두고 매일 우화한 개체수를 조사하였다.



그림) 호박꽃과실파리 번데기 살충제를 처리한 사육통

오리엔탈과실파리 번데기를 대상으로 유효한 약제를 적용하기 위해 호박꽃과실파리로 살충력을 분석하였다. 상토 500ml에 다이아톤 1.8g을 혼합한 처리에서는 모두 사망하였고, 농도가 낮을수록 사망률이 낮았다. 팔라딘은 0.3ml 이상의 농도에서는 모두 사망하였고, 더 낮은 농도에서는 사망률이 낮아졌다. 돌격대에서는 0.375ml 이상의 농도에서는 모두 사망하였고, 농도가 낮을수록 사망률이 낮아졌다.

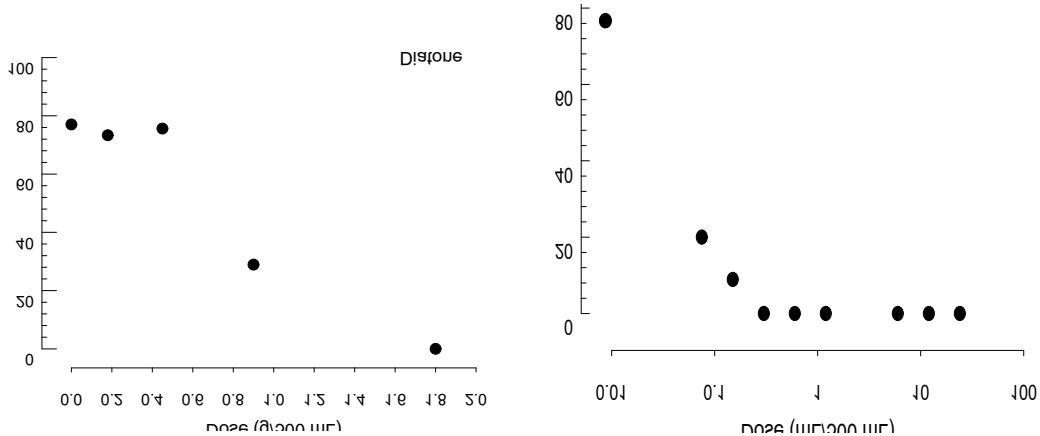


그림 1. 호박꽃과실파리(*B. scutellata*) 번데기에 대한 두 약제의 살충력 비교. 토양 500 g을 넣으면 토양 깊이가 5 cm 정도되는 크기의 사육용기에 여러 농도의 약제를 처리하였다. 이 토양에 번데기를 반복 당 30 마리씩 접종하고 우화율을 산출하였다. 각 약제 농도는 3 반복으로 실시되었다.

표 1. 호박꽃과실파리 번데기에 대한 토양 살충제 처리 후 영향

농약		우화수			사충율(%)	방제가(%)
		1	2	3		
다이아톤	1.8g	0	0	0	100	100
	0.9g	6	0	8	68.9	66.8
	0.45g	8	13	13	24.4	17.6
	0.18g	14	10	9	26.7	20.1
팔라딘	24ml	0	0	0	100	100
	12ml	0	0	0	100	100
	6ml	0	0	0	100	100
	1.2ml	0	0	0	100	100
	0.3ml	0	0	0	100	100
	0.15ml	1	1	2	91.1	90.3
돌격대	0.075ml	3	-	-	80.0	78.2
	6ml	0	-	-	100	100
	3ml	0	-	-	100	100
	1.5ml	0	-	-	100	100
	0.75ml	0	-	-	100	100
	0.375ml	0	-	-	100	100
	0.188ml	1	-	-	92.9	92.3
	0.094ml	7	-	-	53.2	49.0
0.047ml	10	-	-	33.3	27.3	
control		14	12	15	9.3	

이상의 결과를 바탕으로 오리엔탈과실파리에 적용하였다. 호박꽃과실파리에서 완전방제를 할 수 있는 농도보다 높은 농도에서도 두 약 모두 방제 효율이 다이아톤의 경우 불과 60%, 팔라딘의 경우 80%에 그쳤다. 따라서 다이아톤의 경우는 3 g을 훨씬 초과하는 약량(추정 10 g)이 필요하며, 팔라딘의 경우는 600 µl 이상의 약량(추정 1 mL) 처리가 필요할 것으로 추정된다.

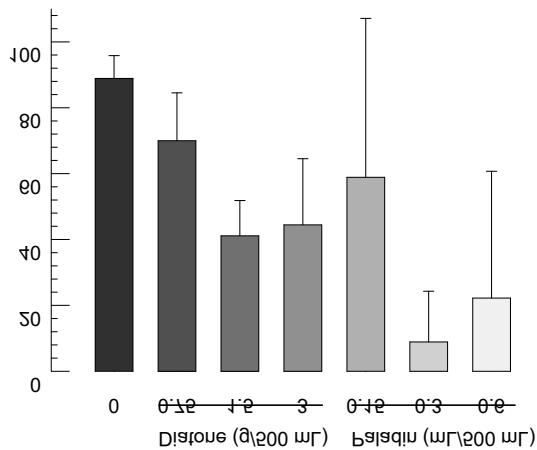


그림 2. 오리엔탈과실파리(*B. dorsalis*) 번데기에 대한 두 약제의 살충력 비교. 토양 500 g을 넣으면 토양 깊이가 5 cm 정도되는 크기의 사육용기에 여러 농도의 약제를 처리하였다. 이 토양에 번데기를 반복 당 30 마리씩 접종하고 우화율을 산출하였다. 각 약제 농도는 3 반복



## 제13장 과실파리 대량 사육 기술 개발

### 연구요약

금지급 과실파리의 방제 기술을 개발하기 위해서는 국내 자생하는 과실파리류를 대체 곤충으로 하여 실험하게 된다. 이에 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대해서 대량 사육 기술이 필요하다. 본 연구에서는 야외에 발생된 과실파리류를 실내로 가져와 기주 및 인공사료를 통해 유충을 사육하고 성충의 산란을 유도하는 기술을 개발하는 데 목적을 두었다.

유충을 단호박과 하늘타리에서 채집하여 우화를 시켰을 때 성충으로 우화하는 개체는 많지 않았고, 우화한 개체도 4주 이상 생존하지는 개체는 없었다. 2월 말에서 3월 초순까지 지난해 단호박을 재배한 포장에서 호박 내부에서 채집한 번데기는 우화한 개체는 있었으나, 4주 이상 생존한 개체는 없었다. 3월 초순에서 4월 초순에 안동과 봉화 지역에서 지난해 단호박을 재배한 포장에서 채집한 호박과실파리 번데기의 평균 우화율은 39.1%였고, 우화 기간은 19~37일로 나타났다. 호박과실파리가 산란한 흔적이 있는 단호박을 수거하여 성충으로 우화한 수는 2016년에는 8월 초순과 하순에 수거한 단호박에서 많았고, 2017년에는 7월에 수거한 단호박에서 우화한 개체가 가장 많았다. 우화 기간은 29~90일까지 다양하였다. 월동 전에 피해가 있는 단호박을 사과 상자에 넣고 호박과실파리 번데기 채집 후 우화율은 45.4%였고, 늦가을에 채집한 것보다는 봄철에 가까울수록 우화율이 높았다. 우화기간은 20일에서 73일까지 다양하였고, 봄철에 가까울수록 우화 기간이 짧아졌다. 월동 전 비닐온실에 모아둔 피해 단호박에서 호박과실파리의 우화율은 7.3%였고, 번데기의 우화 기간은 13~26일이었다. 호박과실파리의 유충 발육기간은 17~31일이었고, 총 발육기간은 34~69일이었다.

호박꽃과실파리 유충은 6월 말부터 9월 중순까지 채집을 할 수 있었다. 호박꽃과실파리는 주로 수꽃을 가해하지만, 암꽃도 가해하는 것이 확인되었다. 호박꽃과실파리의 발생화율은 6월과 7월 초에는 낮았지만, 7월 말 이후에는 50% 이상의 꽃에서 발생하는 것을 확인하였다. 호박꽃과실파리의 토양 상태의 차이별로 우화율은 원예용 상토 보다는 양질 토양이 우화율이 높게 나타났다. 호박꽃과실파리의 번데기 형성 위치는 상토의 깊이가 2~4cm인 위치에서 50% 이상이 번데기를 형성하였다. 호박꽃과실파리를 사육 조건별로 용화율은 애호박 암술을 넣어주고 개체 사육할 때 번데기 형성율은 66.2%로 가장 높았고, 다음은 꽃대를 넣고 집단 사육할 때가 38.1%, 꽃대를 넣고 지름 10cm breeding dish에 넣었을 때는 32.8%였다. 호박꽃과실파리를 먹이 조건별로 우화율은 애호박 암술을 먹이로 공급하였을 때 우화율은 66.5%였고, 애호박 꽃대를 공급하였을 때는 53.7%, 그리고 단호박 수꽃을 공급하였을 때는 87.6%로 우화율이 가장 높았다. 계절별로 실내에서 호박꽃과실파리의 발육 기간은 애호박 꽃대를 먹이로 알에서 성충까지의 발육기간은 16~20일 정도였으며, 온도가 상대적으로 높았을 때가 발육기간이 짧았고, 겨울철이 발육기간이 길었다. 호박꽃과실파리 유충에 인공사료를 제조하여 공급하였을 때 Agar, 호박가루, Yeast, Wheat bran, 설탕, Casein을 혼합한 인공사료를 먹은 유충은 정상적으로 번데기를 형성하였으나, 번데기 형성율은 4.4%였고, 성충으로 우화하지는 못하였다.

오리엔탈과실파리 유충의 인공사료로 Yeast, 밀기울, Benzoic acid, HCL를 혼합하여 Taiwan에 있는 Agricultural Research Institute의 사육실에서 오리엔탈과실파리의 유충 먹이로 공급하였다. 대부분의 오리엔탈과실파리 유충은 인공사료를 정상적으로 먹었고, 성충으로 우화하는 것도 확인할 수 있었다. 알에서 성충까지 전체 발육기간은 21~23일이었다.

## 2. 재료 및 방법

호박과실파리와 호박꽃과실파리는 국내 호박 포장과 하늘타리에서 채집하여 실내 사육을 하였고, 오리엔탈과실파리의 사육은 Taiwan에 있는 Agricultural Research Institute의 사육실에서 하였다. 자세한 방법은 결과와 함께 기술하였다.

## 3. 결과

### 채집 및 사육

겨울철 유충 채집수와 우화 수. 2016 1월부터 3월까지 안동의 단호박과 제주의 하늘타리에서 호박과 실파리 유충을 채집한 결과는 표 1과 같다. 채집한 유충은 사육실(25±3°C)로 옮겨서 번데기가 될 때까지 두었다가 번데기가 되면 흙을 5cm 깊이로 덮어 주고 우화를 유도하였다(그림 1). 성충으로 우화를 하는 개체는 많지 않았고, 우화한 개체도 4주 이상 생존하지는 개체는 없었다.

표 1. 겨울철에 호박과 하늘타리에서 호박과실파리 유충 채집 개체 수와 우화 수(2016)

채집 날짜	채집 지역	기주 식물	유충 채집 개체 수	우화수	우화 4주 후 생존 수
01월 14일	안동 북후	호박	43	11	0
01월 15일	안동 북후	호박	100	-	0
02월 07일	안동 북후	호박	11	-	0
02월 25일	안동 북후	호박	3	-	0
02월 26일	제주시	하늘타리	3	1	0
03월 15일	안동 와룡	호박	80	-	0
계			240	12	0



그림 1. 호박과실파리 피해 단호박(좌)과 번데기를 우화시키는 케이지(우).

겨울철 번데기 채집수와 우화 수. 2016년 2월 말에서 3월 초까지 안동과 봉화 지역에서 지난해 단호박을 재배한 포장에서 단호박 내부와 밭 흙을 10cm 깊이까지 파서 호박과실파리 번데기를 채집하였다. 채집한 후 사육실로 옮겨서 밭 흙을 5cm 이상 덮어 주고 우화를 유도하였다. 호박에서 채집한 번데기는 우화한 개체는 있었으나, 4주 이상 생존한 개체는 없었다. 반면 토양에서 채집한 번데기는 성충으로 우화한 개체는 40% 이상 되었고, 4주 이상 생존한 개체는 10% 이상이었다(표 2).

## 2. 호박과실파리 번데기 채집수와 우화 수(2016)

채집 날짜	장소	채집 위치	개체수	우화 수	우화 4주 후 생존 수
02월 25일	안동 북후	단호박 내부	20	8	0
03월 02일	봉화 상운	토양	600	210마리 이상	50마리 이상
03월 08일	안동 북후	토양	110	48마리	20마리 이상
03월 09일	안동 와룡	토양	170	99마리	20마리 이상
계			900	365마리 이상	90마리 이상

**번데기의 채집수, 우화수 및 우화 기간.** 2017년 3월 초순에서 4월 초순에 안동과 봉화 지역에서 지난해 단호박을 재배한 포장에서 흙을 10cm 깊이까지 파서 호박과실파리 번데기를 채집하였다. 채집한 후 사육실(25±3°C)로 옮겨서 발 흙을 5cm 이상 덮어주고 우화를 유도하였다. 우화율은 18.0~88.3%까지 다양하였으며, 전체 평균 우화율은 39.1%였다. 번데기의 우화 기간은 안동은 16~27일로 번데기 수거일에 상관없이 모두 비슷하였다. 봉화의 우화 기간은 19~37일로 지역 내에서는 비슷하였으나, 안동 보다는 조금 길게 나타났다(표 3).

표 3. 야외에서 채집한 호박과실파리 번데기의 우화율 및 우화 기간(2017)

번데기 채집일	채집 장소	채집 개체수	우화수(우화율%)	우화 기간
03월 07일	안동 북후	25	11(44.0)	16~26일
03월 07일	봉화 상운	100	27(27.0)	19~37일
03월 11일	안동 와룡	120	106(88.3)	19~27일
03월 11일	봉화 상운	100	18(18.0)	22~37일
03월 19일	안동 북후	80	22(27.5)	22~26일
03월 25일	안동 북후	50	11(22.0)	20~25일
04월 01일	안동 북후	60	14(23.3)	26일
계		535	209(39.1)	

**생육기에 호박꽃과실파리 산란흔이 있는 단호박 수거 후 우화 수.** 2016년과 2017년 4월에 단호박을 파종하여 재배하고, 7월부터 단호박에 호박과실파리가 산란한 흔적이 있는 단호박을 수거하여 사육실(25±3°C)로 옮겨서 발 흙을 10Cm 이상 담은 용기에 단호박을 위에 올려놓고 망을 씌웠다(그림 1). 흙이 마르지 않도록 2~3일에 한 번씩 물을 뿌려주고 우화를 유도하였다. 번데기 기간을 거치고 성충으로 우화한 수를 조사한 결과는 표 4와 같다. 암컷 보다 수컷이 항상 많이 우화하였다. 단호박을 수거한 후 1개월 정도에 첫 우화한 성충을 확인할 수 있었다. 우화 기간은 29~90일까지 다양하였다. 2016년에는 8월 초순과 하순에 산란 흔적이 가장 많이 확인되었고, 수거한 단호박 또한 가장 많았으며, 가장 많은 성충이 우화 하였다. 특히 호박과실파리 피해는 8월 말에 안동에서 단호박 근처에 있는 박에서도 심하게 발생하는 것이 확인되었다(그림 2). 호박과실파리의 우화는 10월 말까지 되었고, 이후에는 우화하는 개체가 없었다. 9월 중순 이후에 수거한 단호박에서는 우화하는 개체가 전혀 없었다. 2017년에는 호박과실파리가 7월에 우화한 개체가 가장 많았고, 단호박의 피해는 10월 말에 가장 많았으나, 7월과 비교하여 상대적으로 우화한 개체는 많지 않았다.

**생육기에 호박과실파리 산란흔이 있는 하늘타리 수거 후 우화 수.** 2017년 8월 2일과 9월 14일에 서귀포 시에서 하늘타리를 채집하여 사육실로 옮겨서 호박과실파리의 우화 기간과 우화수를 조사하였다. 첫 우화일

채집 후 29일째였고, 우화 기간은 2개월 이상 지속되었다. 수컷이 암컷보다 조금 더 많이 우화하였다(표 5).

표 4. 호박과실파리 산란 흔적이 있는 단호박을 수거하여 우화한 성충 수 조사

단호박 수거 년	단호박 수거 일	단호박 수거 수	우화 수			우화 기간
			암컷	수컷	계	
2016	07월 20일		18	26	44	8/26~9/18(37~60일)
	08월 01일		127	177	304	9/1~10/28(31~89일)
	08월 08일		58	75	133	9/8~10/17(30~69일)
	08월 15일		2	2	4	9/17~9/18(33~34일)
	08월 19일		8	17	25	9/17~9/19(29~31일)
	08월 22일		84	127	211	9/23~10/31(32~70일)
	08월 29일		23	28	51	9/26~10/27(28~59일)
	09월 10일		7	27	34	10/12~10/31(32~41일 )
	09월 29일		0	0	0	-
	10월 03일		0	0	0	-
	10월 09일		0	0	0	-
	10월 16일		0	0	0	-
	10월 17일		0	0	0	-
2017	07월 17일	12	81	111	192	8/20~11/6(34~112일)
	07월 30일	17	49	60	109	8/31~10/29(32~91일)
	08월 07일	12	12	17	29	9/13~10/6(37~60일)
	09월 12일	7	4	8	12	10/17~11/6(35~55일)
	10월 30일	30	17	22	39	12/4~1/9(35~71일)
	11월 03일	17	14	17	31	12/3~12/26(30~53일)
계			504	714	1,218	



그림 2. 호박과실파리의 단호박에 산란한 흔적(좌)과 박에 산란한 흔적(우).

5. 하늘타리를 채집하여 호박과실파리 우화일 및 우화한 성충 수 조사(2017)

하늘타리 수거 일	수거한 하늘타리 수	우화일 (기간)	우화 수		
			암컷	수컷	계
08월 02일	30	9/13~10/2(42~61일)	34	39	73
09월 14일	100	10/13~11/6(29~53일 이상)	36	41	77
계			70	80	150

월동 전에 피해가 있는 단호박을 수거 후 우화수. 2017년 8월에서 10월에 땅을 사과 상자 깊이 정도 파서 사과상자를 묻은 다음 사과 상자에서 호박과실파리의 유충이 탈출하지 못하도록 땅을 사과 상자 내부에 넣고 발 흙을 상자의 70% 정도 넣었다. 사과 상자 안에는 호박과실파리의 산란 흔적이 있는 단호박을 수거하여 흙 위에 올려 주었다(그림 3). 12월 19일과 다음해 1월 22일에 사과상자를 꺼내어 우화 기간과 우화수를 조사하였다.

우화 기간은 25~48일로 나타났고, 우화 개체수는 1월 22일 수거한 상자에서 307마리로 상당히 많이 우화하였다(표 6).

표 6. 호박과실파리의 피해가 있는 단호박을 사과 상자에 넣고 우화 기간과 우화수 조사

사육실 이동일	우화일(기간)	우화수		
		암컷	수컷	계
12월 19일	1/17~2/5(29~48일)	10	11	21
01월 22일	2/16~2/27(25~36일)	-	-	307
계		10	11	328



그림 3. 호박과실파리를 우화시키기 위해 땅에 사과 상자를 묻어 두고 피해 단호박을 넣어 둔 장면.

월동 전에 단호박 포장에서 번데기 채집 후 우화 수. 2017년 11월 2일과 20일에 단호박 포장에서 땅을 10cm 까지 파서 호박과실파리 번데기를 채집하여 사육실(25±3°C)로 옮겨서 발 흙을 10cm 이상 담은 용기에 단호박을 위에 올려놓고 땅을 씌웠다. 흙이 마르지 않도록 2~3일에 한번씩 물을 뿌려주고 우화를 유도하였다.

호박과실파리 번데기는 채집 후 40일과 23일째에 첫 우화 하였고, 우화 기간은 23~46일까지 되었다. 우화율은 22.4%였다(표 7).

월동 전에 피해가 있는 단호박을 사과 상자에 넣고 번데기 채집 후 우화. 2018년 8월에서 10월에 땅을 사과 상자 깊이 정도 파서 사과 상자를 묻은 다음 사과 상자에서 호박과실파리의 유충이 탈출하지 못하도록 망을 사과 상자 내부에 넣고 발 흙을 상자의 70% 정도 넣었다. 그런 다음 사과 상자 안에 호박과실파리의 산란 흔적이 있는 단호박을 수거하여 흙 위에 올려 주었다. 호박과실파리의 평균 우화율은 45.4%로 높았으며, 늦가을 보다는 봄철에 가까울수록 우화율이 높았다. 우화기간은 20일에서 73일까지 다양하였고, 봄철에 가까울수록 우화 기간이 짧아지는 경향이였다(표 8).

표 7. 월동 전에 호박과실파리 번데기를 수거하여 우화일 및 우화한 성충 수 조사(2017)

수거일	번데기 수	우화수			우화일(기간)
		암컷	수컷	계(우화율 %)	
11월 2일	44	2	5	7(15.9%)	12/12~12/18(40~46일)
11월 20일	32	3	7	10(31.3%)	12/13~12/20(23~30일)
계		5	12	17(22.4%)	

표 8. 월동 전에 호박과실파리 피해가 있는 단호박을 사과 상자에 넣고 번데기를 채집한 후 우화일 및 우화한 성충 수 조사(2018)

수거일	번데기 수	우화수			우화일(기간)
		암컷	수컷	계(우화율 %)	
10월 17일	50	5	8	13(26.0%)	11/19~12/26(32~69일)
11월 02일	50	5	9	14(28.0%)	11/26~1/14(24~73일)
11월 29일	50	5	5	10(20.0%)	12/26~1/21(27~53일)
02월 18일	350	80	110	190(54.3%)	3/9~3/26(20~37일)
계	500	95	132	227(45.4%)	

월동 전 비닐온실에 모아둔 피해 단호박에서 우화율 및 우화 시기. 생육기에 호박과실파리의 피해가 있는 단호박을 옆에 측창을 만들고 지붕에 부직포를 씌운 비닐온실에 모아 두었다(그림 4). 2016년 12월 말부터 2017년 3월 초까지 비닐온실 안에서 월동하고 있는 번데기를 수거하여 사육실(25±3℃)로 옮겨서 발 흙을 5cm 이상 덮어 주고 우화를 유도하였다. 전체의 평균 우화율은 7.3%였다. 번데기의 우화 기간은 13~26일로 번데기 수거일에 상관없이 모두 비슷하였다(표 9).

표 9. 비닐온실에 저장한 호박과실파리 번데기의 우화율(2016)

번데기 수거일	번데기 수거 개체수	우화수(우화율%)	우화 기간
12월 29일	587	23(3.9)	-
01월 19일	594	33(5.6)	-
03월 01일	1,000	96(9.6)	13~26일
03월 02일	270	22(8.1)	15~26일
03월 03일	100	11(11.0)	15~24일
계	2,551	185(7.3)	

**실내 사육.** 호박과실파리를 사육하기 위하여 봄철에 안동과 봉화에서 채집한 번데기를 5Cm 깊이의 흙에 묻고 사육실에 두었다. 호박과실파리의 번데기는 3월 말부터 4월 초에 대부분 우화하였다. 성충의 먹이로 설탕 2, 전지분유 1, 이스트 1, 물 0.5를 믹서기로 혼합하여 공급하였다. 사육 조건은 온도를 25±3°C로, 습도를 60±10%로 하고 조명은 사육케이지의 한쪽은 형광등으로 최대한 밝게 하고, 반대쪽은 최대한 어둡게 하여 호박과실파리 성충이 쉴 수 있게 하였다(그림 5). 성충은 우화 후 1개월 정도는 거의 먹이를 먹는 것이 관찰되지 않았고, 3개월 정도 후에 산란 행동이 관찰되었다. 호박과실파리가 미리 알을 낳지 않은 단호박 열매를 따로 재배하여 호박과실파리 성충이 알을 낳을 수 있도록 하였다. 성충의 짝짓기는 6월 11일에 최초로 관찰되었고, 6월 14일부터 산란하기 시작하였다(그림 6).

호박과실파리의 유충 발육기간은 17~31일이었고, 총 발육기간은 34~69일로 조사되었다. 총발육기간은 시간이 지나면서 짧아지는 경향이였다(표 10).



그림 4. 호박과실파리의 피해가 있는 단호박을 보관한 비닐하우스(좌)와 호박과실파리 피해를 받은 단호박(우).



그림 5. 호박과실파리 성충 사육 케이지.



그림 6. 호박과실파리의 짹짹기 장면(좌)과 단호박에 산란한 장면(우).



표 10. 호박과실파리의 실내에서 발육 기간

산란일	번데기 최초 형성일	총 번데기 형성수	알 ~ 유충 기간	최초 우화일	총 우화수	번데기 기간	총 발육기간
06월 14일	07월 02일	15	18~25일	08월 06일	2	35	53~55일
06월 22일	07월 09일	35	17~31일	08월 13일	1	34	51일
06월 25일	07월 17일	9	22일	-	-	-	-
07월 01일	-	-	-	08월 20일	22	-	50~69일
07월 07일	-	-	-	08월 22일	10	-	46~55일
07월 11일	-	-	-	08월 13일	48	-	40~56일
07월 13일	-	-	-	08월 20일	14	-	34~51일
07월 17일	-	-	-	08월 24일	3	-	34~37일

### 호박과실파리 사육 체계

호박과실파리를 사육하는 체계는 아래와 같다(그림 7).

- 1) 땅이 녹는 3월 초순에서 4월 초순에 호박과실파리가 많이 발생하였던 포장에서 번데기를 대량 수거한다. 이용하지 않는 번데기는 3~5°C 냉장고에 보관하여 두었다가 필요할 때 이용한다.
- 2) 아크릴케이지(40×120×40cm)에 호박과실파리의 성충이 설 수 있게 호박을 심어준다.
- 3) 성충으로 우화시켜 성충의 먹이로 설탕 2, 전지분유 1, 이스트 1, 물 0.5를 인공먹이로 공급한다.
- 4) 사육 조건은 온도를 25±3°C로, 습도를 60±10%로 하고 조명은 하루 15시간 한다. 3시간 정도 추가 조명을 한다.
- 5) 호박 열매를 넣어 주어 산란을 유도한다.
- 6) 호박과실파리가 알을 낳은 호박은 꺼내어 사육용기(210×160×119) 바닥에 흙을 10cm 깔아주고 번데기 형성이 용이하도록 한다.

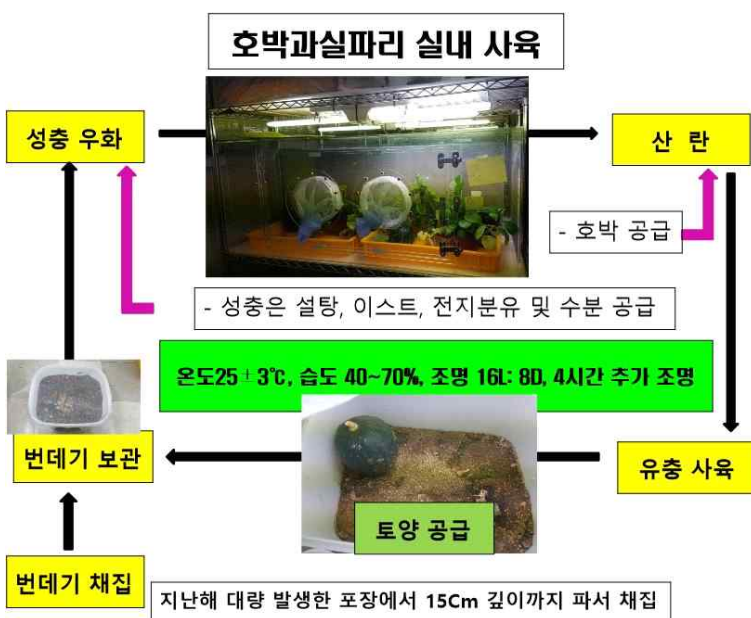


그림 7. 호박과실파리 사육 체계도

## 호박꽃과실파리 채집 및 사육

생육기에 유인제를 이용한 성충 채집. 호박꽃과실파리는 단호박꽃이 많이 피는 시기인 7월부터 10월까지 Cuelure, 황색 평판트랩, 단백질 트랩 그리고 단호박에서 채집을 하였다. 호박꽃과실파리 성충은 7월 초부터 채집되기 시작하였다. Cuelure에서 가장 많이 채집되었으며, 8월에 가장 많은 개체를 채집하였다. 10월 중순 이후에는 Cuelure에서는 채집되지 않았으나, 황색트랩과 단백질 트랩에는 소수의 개체가 10월 말까지 채집되었다(표 11).

표 11. 단호박 포장에서 유인제를 이용한 호박꽃과실파리 채집

채집 날짜	채집 령기	채집 장소	Cuelure	황색 평판트랩	단백질 트랩	단호박꽃	계
7월 9일	성충	안동 와룡		1			1
7월 12일	성충	안동 북후		2	6		6
	성충	안동 와룡		1			1
7월 14일	성충	안동 북후		2	4		6
	성충	안동 와룡		1			1
7월 18일	성충	안동 북후	15				15
7월 25일	성충	안동 북후	25				25
8월 1일	성충	안동 북후	55				55
8월 3일	유충	제주 대정				10	10
8월 8일	성충	안동 북후	36	2	2		40
8월 15일	성충	안동 북후	17	4	1		22
8월 21일	성충	안동 북후	15				15
8월 29일	성충	안동 북후	13	2	1		16
	유충	안동 북후				20	20
9월 4일	성충	안동 북후	3				3
9월 13일	성충	안동 북후	2	11	4		17
9월 19일	성충	안동 북후	5		3		8
9월 26일	성충	안동 북후	2		3		5
10월 9일	성충	안동 북후	2	2	1		5
10월 16일	성충	안동 북후	0	2	4		6
10월 23일	성충	안동 북후	0	2			2
10월 26일	성충	안동 북후	0		1		1
계			190	32	29	30	279

생육기에 식물체에서 유충 채집. 호박꽃과실파리 유충 채집은 단호박 꽃과 하늘타리 꽃이 많이 피는 시기인 6월 말부터 9월 중순까지 채집을 하였다(표 12). 안동에서는 단호박 꽃이 피어있는 기간에는 호박꽃과실파리 유충을 꾸준히 채집할 수 있었다. 제주도에서는 하늘타리 꽃을 대량으로 채집하여 호박꽃과실파리 유충을 확보할 수 있었다(그림 8). 호박꽃과실파리는 주로 수꽃을 가해하지만, 암꽃도 가해하는 것이 확인되었다(그림 9).

발생화율. 호박꽃과실파리의 발생 화율(%)을 조사하기 위해 안동의 단호박 꽃과 제주의 하늘타리 꽃을 대상으로 보이는 모든 것을 채집하여 사육통(210×160×100)에 흙을 깔고 우화수를 조

사하였다. 6월과 7월 초에는 발생화율이 낮았지만, 7월 말 이후에는 50% 이상의 꽃에서 발생하는 것을 확인하였다(표 13).

표 12. 단호박과 하늘타리 꽃에서 호박꽃과실파리 유충 채집

채집일	채집 장소	기주 식물	채집 개체수
06월 22일	서귀포 대정	하늘타리	105
07월 03일	안동 북후	단호박	104
07월 05일	안동 북후	단호박	60
07월 10일	안동 북후	단호박	84
07월 11일	안동 북후	단호박	67
07월 11일	안동 북후	단호박	107
07월 20일	안동 북후	단호박	10
07월 26일	안동 북후	단호박	15
07월 30일	안동 북후	단호박	95
08월 02일	제주 대정	하늘타리	800
08월 28일	안동 북후	단호박	60
09월 14일	서귀포 대정	하늘타리	700
계			2,207



그림 8. 호박꽃과실파리의 단호박 수술 가해(좌)와 하늘타리 가해(우).



그림 9. 호박꽃과실파리의 수꽃에 산란한 흔적(좌)과 암꽃에 피해를 준 흔적(우).

표 13. 단호박꽃과 하늘타리꽃을 수거하여 호박꽃과실파리의 발생화율 조사

채집일	기주 식물	채집 꽃 수	우화수(발생 화율%)
06월 22일	하늘타리	300	105(35%)
07월 03일	단호박	500	104(20.8%)
07월 30일	단호박	120	95(79.2%)
08월 02일	하늘타리	1,500	800(53.3%)
09월 14일	하늘타리	1,000	700(70%)
계		2,420	1,104(58.2%)

**토양 상태별 우화율.** 호박꽃과실파리의 토양 상태의 차이별로 우화율을 조사하기 위해 시판되고 있는 원예용상토와 호박이 자라고 있는 밭에서 양질토양을 사육통(210×160×100)에 담고 우화율을 비교하였다. 원예용 상토 보다는 양질 토양이 우화율이 높게 나타났다(표 14). 이는 토양이 수분을 보유하고 있는 정도에도 관계가 있을 것으로 판단된다.

표 14. 토양 상태별 호박꽃과실파리의 우화율

토양	조사 유충수	우화수(우화율%)
원예용 상토	84	64(76.2%)
양질 토양	87	86(98.9%)

**번데기 형성 위치.** 호박꽃과실파리의 번데기 형성 위치를 알아보기 위해 사육통(210×160×100) 바닥에 상토를 4cm 깔고 호박꽃과실파리 종령 유충 111개체를 두었다. 상토의 깊이가 2~4cm인 위치에서 50% 이상이 번데기를 형성하였다(표 15).

표 15. 호박꽃과실파리의 상토 깊이별 번데기 형성 위치

상토 깊이	번데기 형성 위치				계
	하늘타리 꽃	표면~1cm	1~2cm	2~4cm	
번데기 형성 개체수	14	13	25	59	111
번데기 형성율(%)	12.6	11.7	22.5	53.2	100

**호박꽃과실파리 실내 사육.** 호박꽃과실파리 사육은 경북 안동의 단호박 포장에서 유충을 채집하여 사육실로 옮겨서 사육을 하였다. 성충의 먹이로 설탕 2, 전지분유 1, 이스트 1, 물 0.5 비율로 믹서로 혼합하여 공급하였다. 사육 조건은 온도를 25±3°C로, 습도를 60±10%로 하고 조명은 하루 15시간 하였다. 단호박꽃이나 단호박꽃대를 공급하여 알을 받았고, 부화한 유충은 단호박꽃이나 애호박 꽃대를 먹이로 공급하였다(그림 10).

호박꽃과실파리는 실내에서 알을 받으려할 때 꽃이 필수적이며, 포장에서는 호박꽃 한 개에 한 개의 알을 낳는 것이 보통이지만, 사육할 때는 산란할 꽃이 부족하면 꽃 한 개에 수십 개씩 산란하는 것을 관찰할 수 있었다(그림 11).



그림 10. 호박꽃과실파리 사육 케이지(좌)와 호박꽃과실파리 알(우).



그림 11. 호박꽃과실파리 성충이 단호박 꽃대에 산란하는 장면(좌), 단호박꽃에 여러 번의 산란관을 찌른 모습(중), 단호박꽃대에 산란된 알(우).

**산란이 용이한 장소 탐색.** 호박꽃과실파리의 산란이 용이한 장소를 찾기 위하여 사육실 온도를  $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로, 습도를  $60\pm 10\%$ 로 하고 조명은 하루 15시간 하였다. 호박꽃과실파리는 포장에서는 꽃봉우리에 산란을 많이 한다. 그러나 실내 사육에서 꽃봉우리를 공급하면 빨리 곰팡이가 생기므로 장기간 사용하기는 어렵다. 그래서 본 실험에서는 산란처로 단호박꽃대, 호박잎, 호박줄기를 넣어 주고 비교하였다. 호박꽃과실파리는 단호박잎과 호박줄기에는 전혀 산란하지 않았고, 호박꽃대에만 산란하였다(그림 12).



그림 12. 호박꽃과실파리의 호박꽃대에 산란한 장면.

**호박꽃과실파리 사육 조건별 용화율.** 호박꽃과실파리를 사육 조건별로 용화율을 조사하기 위하여 사육실 온도는  $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로, 습도는  $60\pm 10\%$ 로, 조명은 하루 15시간 하였다. 사육의 조건은 3가지로 나누었다. 첫째는 지름 5cm의 breeding dish에 애호박 암술(그림 13, 좌)을 한 개씩 넣고 호박꽃과실파리 알을 한 개씩 넣어 개체 사육하는 방법(그림 14, 좌), 둘째는 지름 10cm의 breeding dish(그림 14, 우)에 애호박 꽃대(그림 13, 우)와 애호박 꽃대를 분쇄하여 넣어 주고 호박꽃과실파리 알을 10개씩 넣어 주는 방법(그림 14, 우), 셋째는  $21\times 16\times 12\text{Cm}$  사각 곤충 사육

통(그림 15)에 알을 40~100개씩 넣는 방법으로 구분하였다. 10일간 번데기가 되는 개체수를 조사하였다.

애호박 암술을 넣어주고 개체 사육할 때 번데기 형성율은 66.2%로 가장 높았고, 다음은 꽃대를 넣고 집단 사육할 때가 38.1%, 꽃대를 넣고 지름 10cm breeding dish에 넣었을 때는 32.8%였다(표 16).



그림 13. 애호박 암술(좌)과 애호박 꽃대(우).

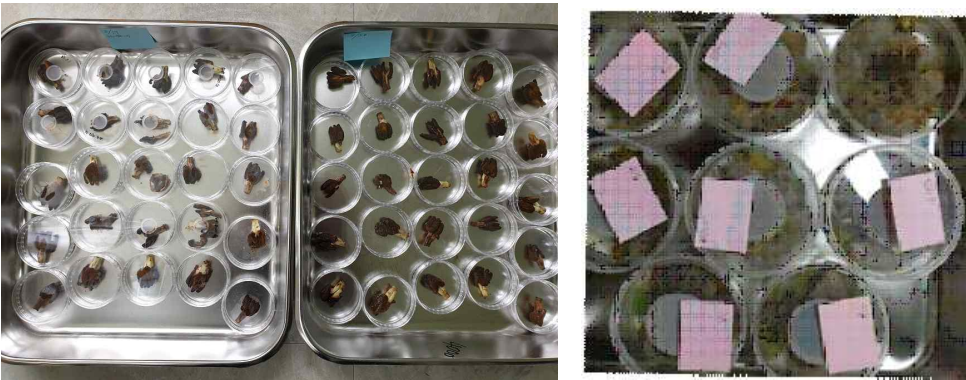


그림 14. 애호박 암술에 호박꽃과실파리 알을 한 개씩 넣어 개체 사육하는 방법(좌)과 애호박 꽃대와 꽃대를 분쇄하고 호박꽃과실파리 알을 10개씩 넣어 주는 방법(우).



그림 15. 사각 곤충 사육통에 호박꽃과실파리 알을 40~100개씩 넣는 방법: 사각 곤충 사육통 내부(좌)와 외부(우).

표 16. 호박꽃과실파리에 유충 먹이별 용화율

구분	실험 개체수	번데기 형성 수	번데기 형성율(%)
애호박 암술(지름 5cm)	151	100	66.2
애호박 꽃대(지름 10cm)	180	59	32.8
애호박 꽃대(21×16×10Cm)	381	145	38.1

**호박꽃과실파리 먹이 조건별 우화율.** 호박꽃과실파리를 먹이 조건별로 우화율을 조사하기 위하여 사육실 온도는 25±3°C로, 습도는 60±10%로, 조명은 하루 15시간 하였다. 먹이의 조건은 3가지로 나누었다. 첫째는 지름 5cm의 breeding dish에 애호박 암술(그림 13, 좌)을 한 개씩 넣고 호박꽃과실파리 알을 한 개씩 넣어 주고 번데기가 된 개체를 21×16×12Cm 사각 곤충 사육통에 넣고 상토로 5Cm 묻어주는 방법, 둘째는 지름 10cm의 breeding dish(그림 14, 우)에 애호박 꽃대(그림 13, 우)와 애호박 꽃대를 분쇄하여 넣어 주고 호박꽃과실파리 알을 10개씩 넣어 주고 번데기가 된 개체를 21×16×12Cm 사각 곤충 사육통에 넣고 상토로 5Cm 묻어주는 방법, 그리고 셋째는 단호박 수꽃을 공급하여 번데기가 된 개체를 21×16×12Cm 사각 곤충 사육통에 넣고 상토로 5Cm 묻어주는 방법으로 구분하였다. 10일간 우화하는 성충수를 조사하였다. 애호박 암술을 먹이로 공급하였을 때 우화율은 66.5%였고, 애호박 꽃대를 공급하였을 때는 53.7%, 그리고 단호박 수꽃을 공급하였을 때는 87.6%로 우화율이 가장 높았다(표 17).

표 17. 호박꽃과실파리 유충 먹이별 우화율

구분	실험 개체수	우화수	우화율(%)
애호박 암술(지름 5cm)	245	163	66.5
애호박 꽃대 (21×16×12 cm)	296	159	53.7
단호박 수꽃	209	183	87.6

**호박꽃과실파리 계절별 발육 기간.** 호박꽃과실파리를 실내에서 대량 사육하기 위하여 사육실 온도를 25±3°C로, 습도는 60±10%로, 조명은 하루 15시간 설정하였다. 사육실 온도는 계절별로 조금씩 차이가 있어서 계절별로 온도를 기록하며, 온도 차이별로 호박꽃과실파리의 발육기간을 기록하였다. 애호박 꽃대에 호박꽃과실파리 알을 받아서 알에서 번데기 기간에는 지름 10Cm breeding dish에 넣어 주었다. 번데기가 되면 21×16×12Cm 사각 곤충 사육통에 넣고 상토로 5Cm 묻어주고 우화를 시켰다.

애호박 꽃대를 먹이로 알에서 성충까지의 발육기간은 16~20일 정도였으며, 온도가 상대적으로 높았을 때가 발육기간이 짧았고, 겨울철이 발육기간이 길었다(표 18).

표 18. 호박꽃과실파리가 애호박 꽃대를 먹었을 때 계절별 사육실 내에서 발육 기간

온도(시기)	실험 개체수	발육기간		
		알~번데기	번데기~성충	총 발육기간
24~28°C(9/30~10/4)	36	6.6±0.32	9.9±0.32	16.5±0.32
21~25°C(11/25~1/28)	42	-	-	20.3±0.48
23~27°C(3/30~4/7)	46	-	-	18.2±0.59
24~28°C(5/4~6/5)	35	-	-	16.9±0.28

**호박꽃과실파리 유충 인공사료 개발.** 호박꽃과실파리의 유충을 대량으로 사육할 수 있는 인공 사료를 개발하기 위해 호박 가루 등 여러 가지 재료를 혼합하여 비교하였다. 표 19와 같이 호박 가루, 호박 암술, 호박 꽃대, Yeast, Wheat bran, 설탕, Casein을 주먹이로 공급하고 지름 10Cm의 breeding dish에 호박꽃과실파리 알을 30개씩, 3반복 접종하였다.

호박꽃과실파리 유충에 다양한 재료로 인공사료를 제조하여 공급한 결과, B, C, D, E에서는 전혀 번데기를 형성하지 못하였다. A와 같이 Agar, 호박가루, Yeast, Wheat bran, 설탕, Casein을 혼합한 인공사료를 먹은 유충은 정상적으로 번데기를 형성하였으나, 번데기 형성율은 4.4%였고, 성충으로 우화하지는 못하였다.

표 19. 호박꽃과실파리 유충 인공 사료 구성비

재료	A	B	C	D	E
Water	73.38	71.38	60	60	76
Agar	2	2	2		
호박 가루	5	5	17	3	
말린 애호박 꽃대		5			
말린 애호박 암술		1			5
Yeast	5	5	10	7	7
Wheat bran	4		4	24	24
설탕	5	5	5	12	12
Casein	4	4	2	4	2
Vitamin mixture			1		
Cholesterol			0.1		
Citric acid	1	1	0.1	0.5	0.5
Sodium benzoate	0.5	0.5		0.5	0.5
Methy-p-hydroxy benzoate	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Streptomycin	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
계	100	100	101.32	111	127



## 호박꽃과실파리 사육 체계

호박꽃과실파리의 사육 체계는 아래와 같다(그림 16)



그림 16. 호박꽃과실파리 사육 체계.

- 1) 호박 포장에서 유충을 채집하여 사육실로 옮긴다.
- 2) 성충의 먹이로 설탕, 전지분유, 이스트를 주원료로 공급한다.
- 3) 사육 조건은 온도를  $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 로, 습도를  $60 \pm 10\%$ 로 하고 조명은 하루 15시간 한다. 3시간 정도 추가 조명을 한다.
- 4) 호박꽃대를 공급하여 산란을 유도한다.
- 5) 알을 낳은 꽃대는 사육통에 상토를 깔아주고 번데기가 되기 좋도록 한다.
- 6) 번데기를 수거하여 우화시킨다.

## 오리엔탈과실파리 사육

**오리엔탈과실파리 유충 인공사료 제조.** 오리엔탈과실파리는 금지급 과실파리로 국내에 도입하여 실험을 할 수 없어서 오리엔탈과실파리 유충의 인공사료를 생물이용연구소에서 제조하였으며, 조성은 표 20과 같다.

제조한 인공사료를 Taiwan에 있는 Agricultural Research Institute의 사육실에서 2019년 6월 5일에서 6월 29일까지 오리엔탈과실파리의 유충 먹이로 공급하였다. 지름 9Cm petri-dish에 인공사료를 넣은 다음 알을 100개씩, 3반복 접종하였다(그림 17). 사육실의 조건은 온도  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ , 습도 60~80%, 조명은 14L:10D로 하였다.

대부분의 오리엔탈과실파리 유충은 인공사료를 정상적으로 먹었고(그림 17), 성충으로 우화하는 것도 확인할 수 있었다(그림 18). 인공사료를 6월 5일 처음 공급하고 6월 26일부터 우화하는 성충을 확인할 수 있었다. 알에서 성충까지 전체 발육기간은 21~23일인 것으로 확인되었다.

표 20. 오리엔탈과실파리 유충 인공사료 조성표

재료	양
Yeast	140g
설탕	240g
밀기울	480g
Benzoic acid	5g
HCL	20ml
물	1,300ml



그림 17. 제조한 오리엔탈과실파리 인공사료(좌)와 인공사료를 먹은 유충(우).



그림 18. 인공사료를 먹고 우화한 오리엔탈과실파리.

### 고찰

오리엔탈과실파리나 오이과실파리 등 과실파리류의 인공사료를 이용한 사육은 많이 보고되어 있지만, 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 인공사료를 이용한 사육에 대해 성공한 사례는 보고되어 있지 않다. 본 연구에서 실험한 결과(표 4, 5), 호박과실파리는 1년에 1세대 발생하며, 절대 휴면하는 종으로 판단된다. 번데기 상태에서 휴면을 유기하지 않고 사육하면 성충으로 우화를 시켜도 성충의 수명이 짧아져서 산란관이 충분히 경화가 되지 않았거나 생식적으로 미성숙하여 다음 세대의 알을 낳지 못하게 된다(표 1, 2).

호박과실파리를 실내에서 사육하려면 이른 봄에 땅을 15cm 깊이까지 파서 번데기를 채집하여 냉장고에 보관하여 두었다가 이용하는 것이 좋다(표 6, 8). 다른 방법은 가을철에 호박에서 채집한 유충을 저온 처리한 후 사육실로 옮겨서 사육하는 것이 좋다.

호박과실파리가 휴면을 유기하지 않고 실내에서 사육이 어렵다는 것은 국내에서 생산한 호박을 외국으로 수출할 때, 수출 호박에 호박과실파리 유충이 들어가 있어도 번데기를 거쳐서 성충이 되기는 어렵고, 성충이 된다고 해도 수명이 짧아져서 수출국에 산란할 가능성은 희박하다(표 1, 2). 이 근거를 바탕으로 수출국과 협상을 하면 국내에서 재배한 호박을 수출할 가능성도 보인다.

호박꽃과실파리의 사육에 대한 연구는 토양 상태별 우화율 조사(표 14), 번데기 형성 위치(표 15), 먹이별 용화율(표 16), 유충 먹이별 우화율(표 17) 등의 실험을 통하여 사육이 가능하다는 것을 확인하였다.

호박꽃과실파리 유충의 인공 사료 제조는 실험 결과와 같이 가능성은 보였지만, 대량 사육을 하려면 더 많은 연구가 필요하다. 대신에 호박꽃과실파리의 사육은 호박꽃과 호박꽃대를 이용한 사육이 가능하다(표 18). 호박꽃은 공급에 한계가 있지만, 호박꽃대는 겨울철에 애호박을 재배하는 농가에서 하루에 한 농가에서 10Kg 이상 공급을 받을 수 있다. 그러므로 애호박꽃대를 많이 모아서 냉장고에 보관하면서 이용할 수 있다.

## 제14장 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 냄새감각기

### 제1절 호박과실파리의 냄새감각기

호박과실파리(*Bactrocera depressa*)의 안테나 및 작은턱수염(maxillary palp)에 있는 냄새감각기(olfactory sensilla)의 형태 및 미세구조를 주사전자현미경(scanning electron microscopy: SEM) 및 투과전자현미경(transmission electron microscopy: TEM)으로 관찰하였다. 호박과실파리의 암, 수컷 안테나 및 작은턱수염에서는 형태적으로 특징적인 냄새감각기들이 관찰되었으며, 이들은 대부분 trichoid sensilla, basiconic sensilla 및 coeloconic sensilla 였다. 가장 많이 분포하는 냄새감각기는 basiconic sensilla로 이들은 두 가지 subtype으로 구분할 수 있었다. 호박과실파리 안테나에는 네 가지 형태적 타입의 냄새감각기들이 존재하는 반면에, 작은턱수염에는 curved basiconic sensilla가 냄새감각기의 대부분을 차지하여 작은턱수염에 있는 냄새감각기들의 기능이 안테나에 있는 냄새감각기들의 기능과는 다를 것이라는 것을 암시하였다. 고해상도의 SEM으로 관찰한 결과에 따르면 trichoid sensilla와 basiconic sensilla의 큐티클 표면에는 많은 나노구조의 소공(nanoscale pore)들이 존재하여, 이들 감각기들의 주 기능이 냄새감각이라는 것을 암시하였으며, 다른 타입의 냄새감각기들은 nanoscale pore의 크기와 분포가 달랐다. 이들과는 달리, coeloconic sensilla에는 nanoscale pore가 존재하지 않았고, 대신, 길이 방향을 따라 홈(longitudinal groove)이 여러 개씩 존재하였다. 안테나에 있는 긴 센털(setae)에도 기부에 여러 개의 nanoscale pore들이 분포하였지만, 이들이 냄새감각기능을 가질 가능성은 낮은 것으로 판단되었다. 본 연구 결과는 호박과실파리에 있는 각 타입의 냄새감각기들의 기능을 연구하는 데 유용할 것으로 사료된다.

안테나와 작은턱수염은 곤충의 주요 감각기관으로, 이들에는 외부 환경으로부터 물리적 신호와 화학적 신호들을 감지할 수 있는 여러 종류의 감각기(sensilla)들이 분포한다 (Keil, 1997). 각각의 개별 감각기(sensillum)는 특정한 감각 기능을 갖고 있으며 이와 관련된 형태와 구조적인 특징들을 갖고 있다. 예를 들어, 감각기 끝에 하나 또는 몇 개의 미소공들이 분포하는 경우 이 감각기는 맛감각 기능(gustatory function)을 할 가능성이 크며 (Chinta et al., 1997; Onagbola & Fadamiro, 2008), 감각기의 큐티클 표면에 다수의 극미세공들이 존재하는 것은 이 감각기의 기능이 냄새감각일 것이라는 형태적 증거가 된다 (Zacharuk, 1980; Chen & Fadamiro, 2008; Setzu et al., 2011). 그러므로, 안테나와 작은턱수염에 존재하는 여러가지 감각기들의 형태적 특징들을 종합적으로 알아봄으로써 이들의 기능에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있다.

각 분류군에 속하는 곤충들의 안테나에 있는 냄새감각기들은 분류군에 따라 특징적인 형태를 공유하는 것으로 보인다 (Chinta et al., 1997; Ploomi et al., 2003; Bleeker et al., 2004; Roh et al., 2016). 안테나에 존재하는 잘 발달된 냄새감각기들과 더불어, 작은턱수염에도 곤충 그룹에 따라 많은 냄새감각기들이 존재하는 것으로 알려져 있지만 작은턱수염에 분포하는 냄새감각기들의 기능에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. 특히, 많은 수의 냄새감각기가 작은턱수염에 존재한다는 것이 *Anopheles gambiae* (Culicidae) (Omondi et al., 2015), *Aedes aegypti* (Culicidae) (Bohbot et al., 2014), *Lispe neimongola* (Muscidae) (Zhang et al., 2013), *Culicoides* biting midges (Ceratopogonidae) (Isberg et al., 2013), *Sarcophaga tibialis* (Sarcophagidae) (Pezzi et al., 2016) 및 일부 *Bactrocera* 속 과실파리 (Zhang et al., 2011) 등 여러 파리목 곤충에서 보고되어 있다. 더욱이, 안테나와 작은턱수염이 각각 독립적인 냄새감

각 기능을 갖는다는 사실이 일부 파리목 곤충에서 전기생리학적 연구 (Kelling et al., 2002; Wasserman & Itagaki, 2003; Yao et al., 2005; Syed & Leal, 2007; Tangtrakulwanich et al., 2011; Verschut et al. 2018), 분자 수준 연구 (Melo et al., 2004; Ha & Smith, 2006; Bohbot et al., 2014; Omondi et al., 2015) 및 행동 연구(Verschut et al. 2018)를 통해 보고 되어 왔다.

호박과실파리(*Bactrocera depressa* (Shiraki): Diptera, Tephritidae)는 한국 일본, 대만 등에 분포하며 호박, 단호박, 애호박 등 박과 식물을 가해하는 해충이다 (Mun et al., 2003; Ovtshinnikova, 2012; Han et al., 2017). 호박과실파리 암컷은 과실의 표피를 뚫고 산란하고 유충은 과실 내부에서 발육하기 때문에 일반적인 독성 살충제를 사용한 방제가 쉽지 않다 (Kim & Jeon, 2008). 호박과실파리가 산란을 위해 기주식물을 탐색하는 과정에 냄새 신호가 관여한다는 것이 보고된 바 있다 (Kang et al., 2008; Seo et al., 2008). 호박과실파리의 냄새감각 시스템을 보다 깊이 이해하려는 노력의 일환으로 본 연구에서는 호박과실파리의 안테나와 작은턱수염에 분포하는 냄새감각기들을 주사전자현미경(SEM: scanning electron microscope)과 투과전자현미경(TEM: transmission electron microscope)을 사용해서 관찰하였다.

## 1. 재료 및 방법

### 가. 실험곤충

경상북도 안동 인근에서 채집한 호박과실파리 유충을 실내에서 사육하여 확보한 암컷과 수컷 성충을 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 성충은 한국생명공학연구원의 곤충사육실 안에서 60 × 60 × 60 cm 크기의 아크릴 케이지에 넣고 온도 25°C, 상대습도 70%, 그리고 16L:8D의 광조건에서 유지하였다. 이들 성충의 먹이로는 단백질과 설탕을 혼합한 분말 먹이를 공급하였고, 증류수를 솜에 적셔 수분을 공급하였다.

### 나. Scanning electron microscopy

주사전자현미경 관찰을 위해, 안테나와 작은턱수염을 해부용 칼을 사용하여 scape 부위에서 절단하여 호박과실파리의 머리에서 분리하거나, 목 부위를 절단하여 머리에 안테나와 작은턱수염이 부착된 상태로 분리하였으며, 분리된 조직들은 70% 에탄올에 24시간 동안 담가 고정하였다. 고정된 안테나와 작은턱수염은 밀폐된 용기에 건조제와 함께 넣어 건조하였으며, 건조된 조직들은 알루미늄 SEM 시료판에 고정시킨 금속 양면테잎 위에 부착시켰다. 이렇게 준비한 샘플들은 sputter coater(Q15ORS, Quorum, UK)에서 금으로 코팅하였고, 주사전자현미경(FEI Quanta 250 FEG, FEI, USA)으로 5 ~ 10 kV에서 관찰하였다.

### 다. Transmission electron microscopy and light microscopy

투과전자현미경 관찰을 위해서, 호박과실파리 성충의 안테나를 분리하여 0.1 M phosphate-buffered (pH 7.2) 2% paraformaldehyde + 2% glutaraldehyde 용액으로 24시간 이상 동안 1차 고정을 하고, 0.1 M phosphate-buffered (pH 7.2) 1% osmium tetroxide solution 에 옮겨 24시간 이상 동안 2차 고정을 하였다. 이렇게 하여 고정된 안테나 샘플은 아세톤 시리즈로 탈수를 하고, Epon 812에 넣어 embedding 하고 오븐에서 경화시켰다. 경화를 마친 샘플은 약 1 μm 두께로 절편을 제작한 다음 methylene blue로 염색을 하여 광학현미경으로 관찰하였다. 광학현미경 관찰을 통해 안테나 조직의 위치와 방향을 확인한 다음, ultramicrotome(Ultracut E, Leica, Germany)을 사용하여 박막 절편(thin section)을 만들고,

이를 uranyl acetate와 lead citrate로 염색하여 투과전자현미경(CM 20, Philips, The Netherlands)으로 관찰하였다.

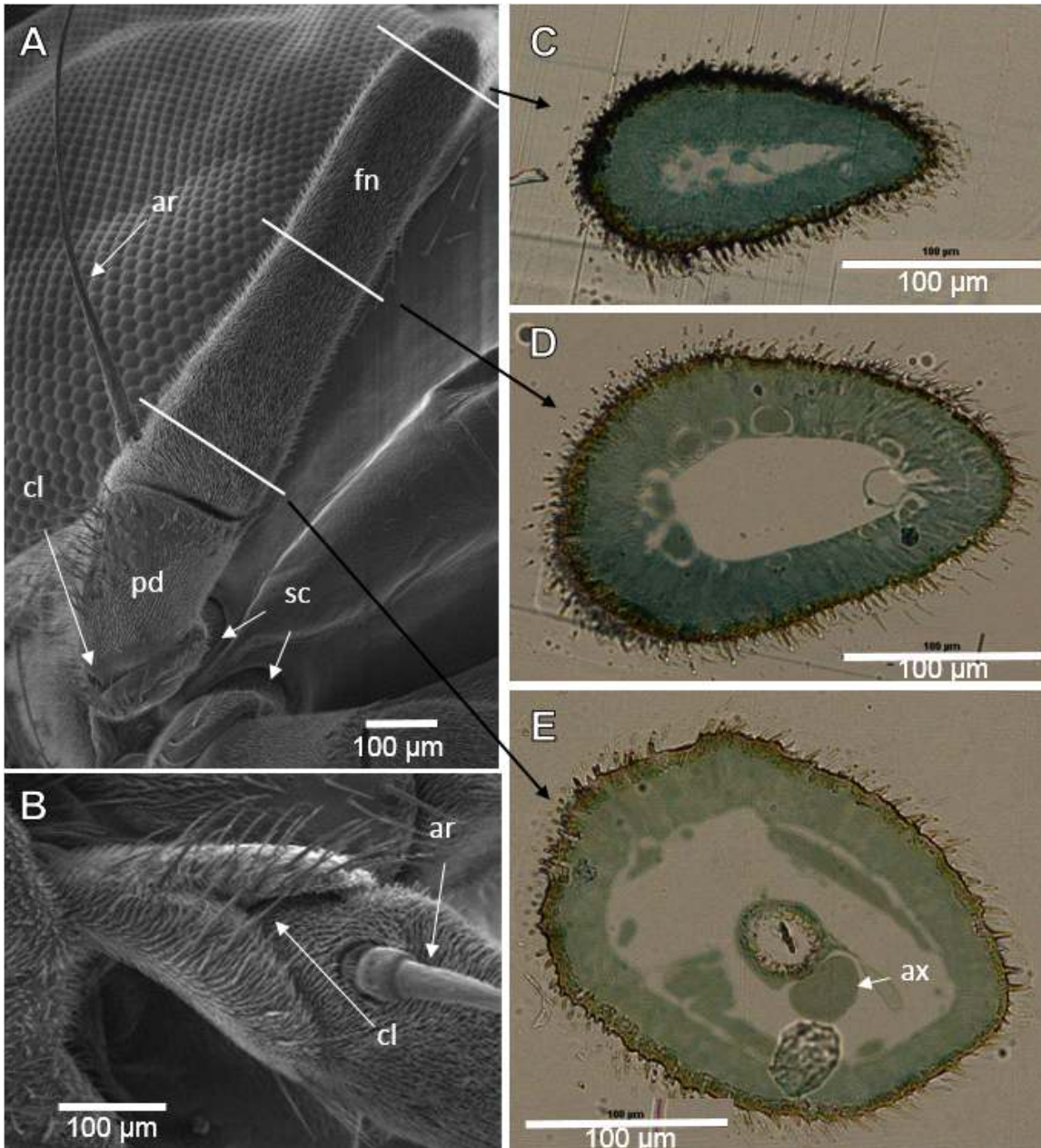
#### 라. 냄새감각기들의 형태적 동정 및 분류

호박과실파리의 안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각기의 형태와 구조에 대한 주사전자현미경 관찰은 6 마리의 수컷과 7 마리의 암컷에서 이뤄졌다. 안테나와 작은턱수염에 있는 감각기들은 5,000 배 이내의 저배율에서 뚜렷이 구분이 되는 모양과 크기 등 형태적 특징을 바탕으로 tritrichod, basiconica 및 coeloconica 등의 몇 가지 그룹으로 분류하였다. 개별 감각기의 폭과 길이는 SEM image로부터 Image J 프로그램(Rasband, 1997-2006)을 사용하여 측정하였다. 안테나와 작은턱수염에 있는 서로 다른 타입의 냄새감각기들 사이에 길이와 폭이 유의하게 다른지 알아보기 위해서 이들 간에 Fisher's LSD test로 통계분석을 하였다. 또한, 안테나와 작은턱수염에 분포하는 각 타입 감각기들 사이의 형태적 유사성과 차이점을 비교하기 위하여 X-Y scattergram을 사용하여 각 감각기의 폭과 길이를 좌표상에 표시하여 비교하였다. 각 형태적 그룹에 속하는 감각기들을 여러 개씩 무작위로 선택하여 표면을 주사전자현미경으로 60,000 배까지의 고배율로 관찰하였다. 큐티클 표면에 직경 20-50 nm 정도의 소공(nanoscale pore)들이 다수 존재하는 경우 이들의 주 감각 기능은 냄새감각인 것으로 간주하였다. Coeloconic sensilla의 경우에는 중앙에 있는 sensory peg을 따라 길이 방향으로 여러 개의 홈(groove)이 있을 때 그 기능이 또한 냄새감각일 것으로 간주하였다. 가능한 경우에는, 각 그룹에 속하는 감각기들을 이들의 모양과 크기에 따라 아그룹(subtype)으로 더 분류하였다.

## 2. 호박과실파리 안테나와 작은턱수염의 구조

### 가. 안테나의 형태 및 구조

호박과실파리 암컷과 수컷 안테나의 scape와 pedicel에는 냄새감각기가 존재하지 않았다. 호박과실파리 안테나의 funiculus 는 많은 짧은 털들로 덮여 있었고 (Fig. 1-1 A), arista가 있는 funiculus의 기부 근처의 경절(pedicel)은 갈라져 있었다 (Fig. 1-1B cl). 짧은 털들은 funiculus 의 둘레에 고르게 분포하였다 (Fig. 1-1 C, D, E). Funiculus 의 큐티클 안쪽 약 30  $\mu$ m 두께 부분에는 cell body 들이 밀집해 있었으며 (Fig. 1-1 C, D, E), funiculus 의 내부를 따라서 axon bundle 이 존재하였다 (Fig. 1-1 E ax).



**Figure 1-1.** 표면을 따라 수많은 감각기(sensilla) 및 털(spinules)가 존재하는 것을 보여주는 호박과실파리 안테나의 전체 구조(A, B) 및 안테나의 횡단면(C, D, E). 안테나의 funiculus를 따라 세 지점에서 준비한 단면 내부에는 큐티클 아래에 녹색으로 염색된 잘 발달된 세포층과 안테나 중앙 공간을 따라 뺏은 축색돌기 다발(axon bundle: ax)이 보임. ar: arista; ax: axon bundle; cl: cleavage; fn: funiculus; pd: pedicel; sc: scape.

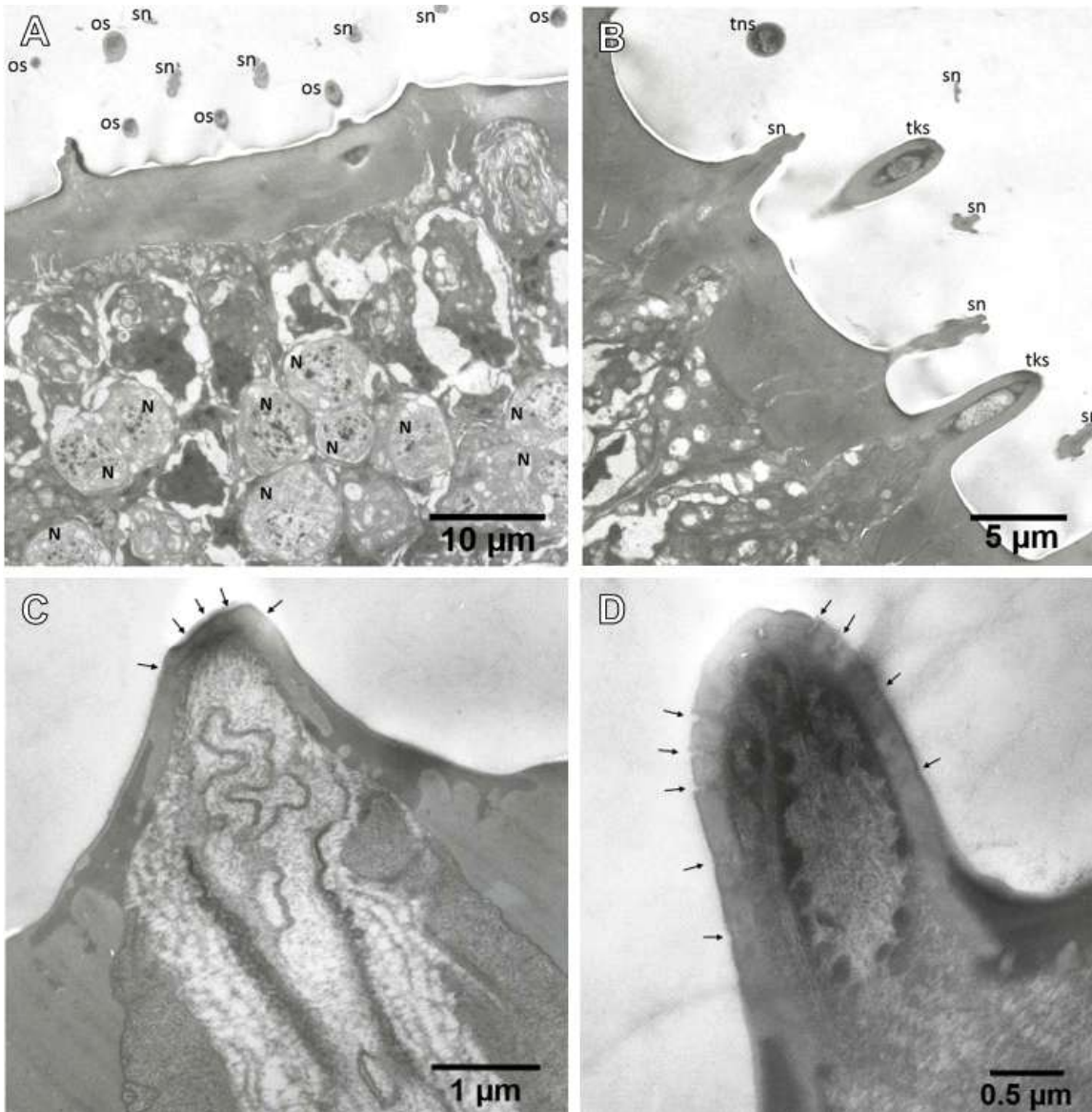
### 3. 호박과실파리 안테나의 냄새감각기

#### 가. 안테나에 존재하는 냄새감각기의 종류

호박과실파리의 안테나를 덮고 있는 밀집한 털들은 냄새감각기(olfactory sensilla: os)와 냄새감각 기능을 갖지 않는 spinule(sn)로 구성되어 있다 (Figure 1-2). 안테나 표면의 큐티클은 냄새감각기의 큐티클에 비해 훨씬 두꺼우며, 안테나의 큐티클 바로 아래에는 세포핵(nuclei)들이 집단(cluster)을 이루고 있다 (Figure 1-2). 얇은 큐티클 표면에는 큐티클을 관통하는 많은 소공

(nanoscale pore)들이 관찰된다 (Figure 1-2 C, D 화살표). 호박과실파리의 안테나에 있는 감각기들은 형태에 따라 크게 네 가지 타입으로 분류될 수 있었다 (Table 1-1, Figure 1-3~1-8). 이들 네 가지 타입은 sensilla trichodea (AnTr) (Figure 1-3), sensilla basiconica I (AnBs-I) (Figure 1-5), sensilla basiconica II (AnBs-II) (Figure 1-6), 및 sensilla coeloconica (AnCl) (Figure 1-8)이며, 이들은 서로 길이와 폭을 기준으로 구분될 수 있었다. 이들 중 세 가지 타입 (trichodea, basiconica I, and basiconica II)은 큐티클 표면에 직경 20-50 nm 정도의 많은 소공(nanoscale pore)들이 존재하였고 (Table 1-1 및 Figure 1-3C,D, 1-5A, 1-6C), 따라서 이들 감각기의 기능이 냄새감각기라는 결론을 내릴 수 있었다. Coeloconic sensilla는 중앙에 위치한 peg의 큐티클 표면에 길이 방향으로 폭 30-50 nm 정도의 홈(groove)이 여러 개 존재하였고 (Figure 1-8A, B), 이는 또한 coeloconic sensilla의 주 기능이 냄새감각이라는 것을 암시하였다 (Shields and Hildebrand, 1999). 안테나에 있는 냄새감각기들의 종류와 분포는 호박과실파리의 암컷과 수컷 간에 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. Trichoid sensilla는 호박과실파리의 네 가지 타입의 냄새감각기들 중에서 안테나에 가장 많이 분포하는 냄새감각기였고, 그 다음으로 많이 존재하는 냄새감각기는 basiconic sensilla I으로, 안테나에서의 이들의 평균 밀도는 각각  $60.0 \pm 2.00$  sensilla per  $10,000 \mu\text{m}^2$  및  $48.2 \pm 4.77$  sensilla per  $10,000 \mu\text{m}^2$ 였다 (mean  $\pm$  standard error). 반대로, basiconic sensilla II는 호박과실파리의 양안테나에 가장 적게 분포하는 냄새감각기로, 평균 밀도가  $9.5 \pm 1.25$  sensilla per  $10,000 \mu\text{m}^2$ 였다 (mean  $\pm$  standard error) (Table 1-1). Coeloconic sensilla의 평균 밀도는 basiconic sensilla II에 비해 약간 높았다 (Table 1-1). 안테나에 있는 각 타입의 냄새감각기들은 대부분 funiculus 표면에 비교적 고르게 분포하고 있었으나, basiconic sensilla I은 funiculus의 양 쪽 기부에 다소 높은 밀도로 존재하고 있었다.





**Figure 1-2.** 호박과실파리 안테나 일부의 단면은 많은 냄새감각기 (os, tks, tns) 및 냄새감각 기능이 없는 짧은 털(spinules: sn)들이 안테나의 주변을 따라 존재하는 것을 보여주며, 감각신경세포들과 보조세포들의 핵(N)이 내부에 존재하는 것을 보여줌 (A, B). 개별 감각기들의 종단면에서 관찰되는 큐티클을 관통하는 다수의 소공(nanoscale pores: 화살표)의 존재는 이 감각기들이 냄새 감각 기능을 갖는다는 것을 나타냄 (C, D). N: nucleus; os: olfactory sensilla; sn: spinule; tks: thick-walled sensilla; tns: thin-walled sensilla.

**Table 1-1.** 호박과실파리 안테나와 작은턱수염에 존재하는 냄새감각기들의 종류, morphometrix 및 밀도 (mean  $\pm$  SE, n = 49 for trichoid sensilla, 52 for type I basiconic sensilla, 33 for type II basiconic sensilla, 및 34 for coeloconic sensilla in the antennae, 그리고 n = 51 for basiconic sensilla in the maxillary palps), 그리고 감각기 큐티클 표면에서 관찰된 wall-pore 의 직경 및 밀도.

Location	Type of sensilla	Abbreviation	Sensilla			Wall-pore	
			Width <sup>a</sup> (μm)	Length (μm)	Density (No/10,000 μm <sup>2</sup> )	Diameter (nm)	Density (No/μm <sup>2</sup> )
Antenna	Trichodea	AnTr <sup>b</sup>	1.83 ± 0.022a	20.95 ± 0.574a	60.0 ± 2.00	20.6 ± 0.84	14.6 ± 0.85
	Basiconica I	AnBs-I <sup>b</sup>	1.07 ± 0.024c	10.47 ± 0.015c	48.2 ± 4.77	53.7 ± 3.14	37.7 ± 1.16
	Basiconica II	AnBs-II <sup>b</sup>	1.17 ± 0.035c	14.27 ± 0.287b	9.5 ± 1.25	18.7 ± 0.67	16.6 ± 0.58
	Coeloconica	AnCl <sup>c</sup>	0.77 ± 0.015d	3.77 ± 0.103d	14.6 ± 2.76	-	-
Maxillary palp	Basiconica	MpBs	1.51 ± 0.047b	10.46 ± 0.416c	41.0 ± 6.19	38.2 ± 2.92	30.6 ± 1.93

Note. Different letters indicate significant differences by Fisher's LSD test within the same column ( $p = .05$ )

Abbreviations: AnBs-I, antennal basiconic sensilla subtype I; AnBs-II, antennal basiconic sensilla subtype II; AnCl, antennal coeloconic sensilla; AnTr, antennal trichoid sensilla; LSD, least significant difference; MpBs, maxillary palp basiconic sensilla; SE, standard error.

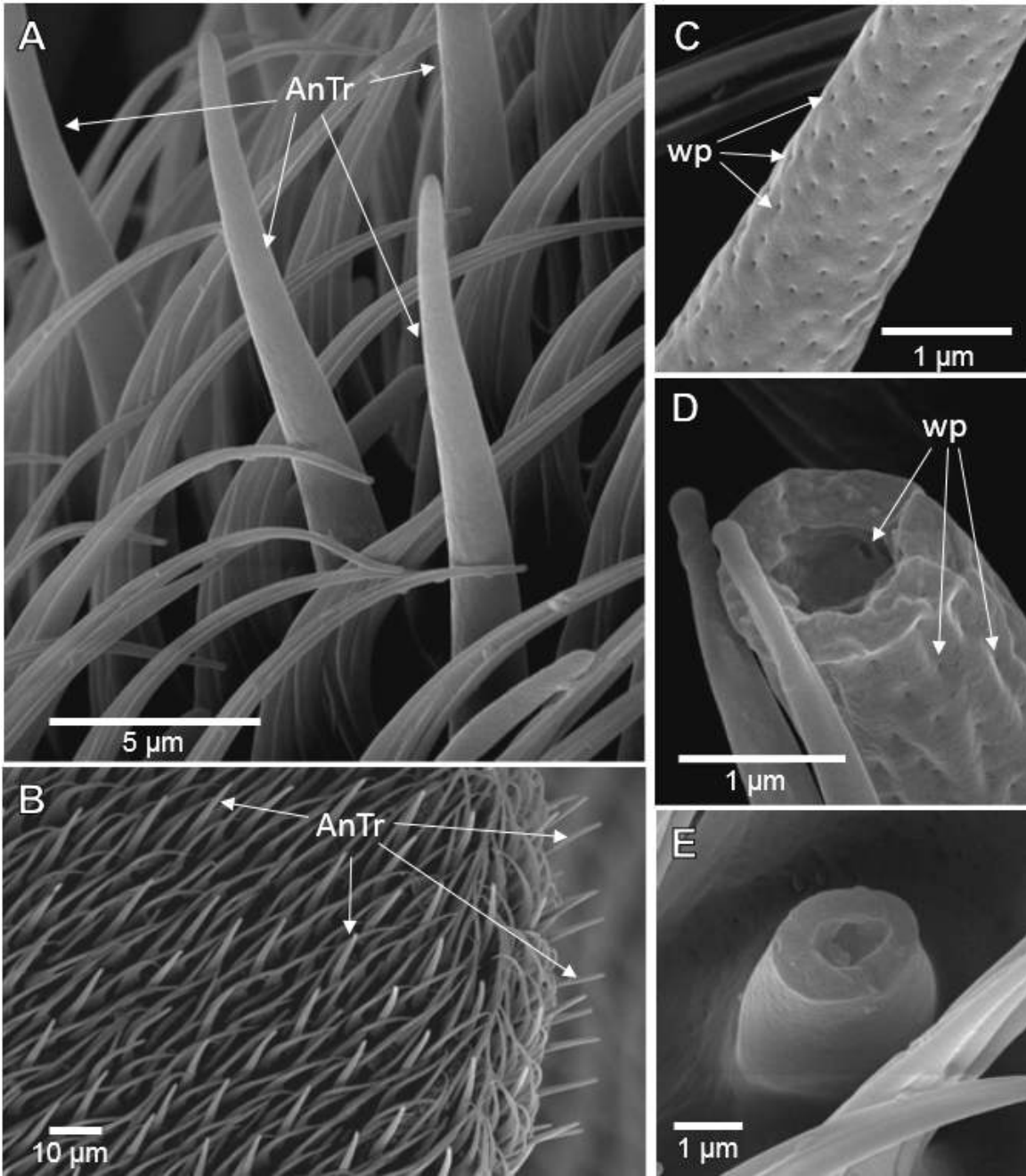
<sup>a</sup>The width at the approximate midpoint of the sensilla.

<sup>b</sup>The thickness of the cuticular wall of the AnTr sensilla was  $309.2 \pm 43.39$  nm (mean  $\pm$  SE,  $n = 9$ ), and that of the AnBs-I and AnBs-II sensilla was  $109.3 \pm 4.05$  nm (mean  $\pm$  SE,  $n = 21$ ).

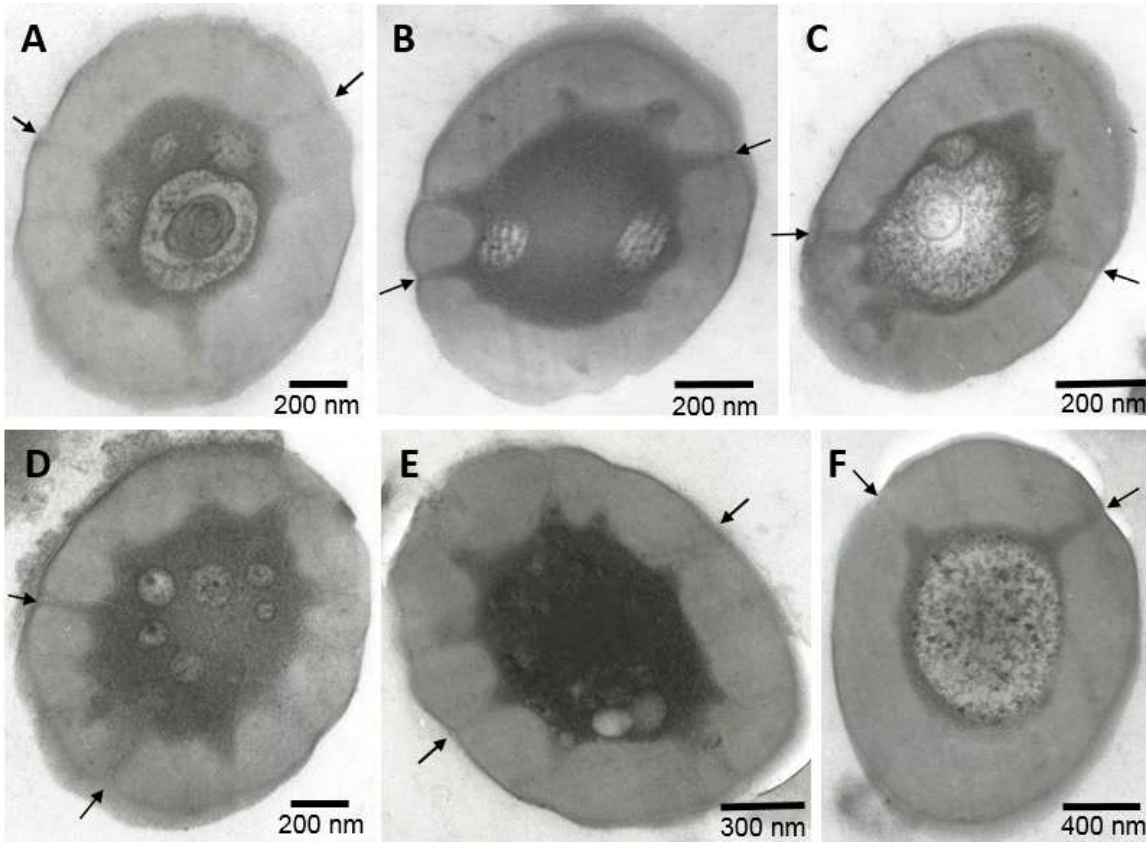
<sup>c</sup>The diameter of the basal rim of the AnCl sensilla was  $2.8 \pm 0.12$  μm (mean  $\pm$  SE,  $n = 14$ ).

## 나. Sensilla trichodea

안테나에 있는 trichoid sensilla(AnTr)는 비교적 길이가 길고 끝이 뾰족한 털 모양을 하고 있었다 (Figure 1-3). 호박과실파리 암, 수컷의 안테나에 있는 trichoid sensilla의 중간 부분 평균 폭은  $1.83 \pm 0.022$  μm (mean  $\pm$  SE,  $n = 49$ )이고 평균 길이는  $20.95 \pm 0.574$  μm ( $n = 49$ )이었다 (Table 1-1). 호박과실파리 암, 수컷의 안테나에 있는 trichoid sensilla는 단일 층의 큐티클로 이뤄져 있었고 평균 두께가  $309.2 \pm 43.39$  nm ( $n = 9$ )인 'thick wall' 타입이었다 (Figures 1-3D, E, 1-4). 고배율 SEM으로 관찰한 trichoid sensilla는 모두 큐티클 표면에 많은 소공(nanoscale pore)들이 존재하였고 (Figure 1-3C, D), 이러한 사실은 TEM 관찰에서도 확인이 되었다 (Figure 1-4). 큐티클 표면의 소공(cuticular pores)은 평균 직경이  $20.6 \pm 0.84$  nm 였고, 평균 분포 밀도는  $14.6 \pm 0.85$  pores μm<sup>-2</sup>였다 (Table 1-1). Trichoid sensilla의 소공들은 전자밀도가 높은 물질들로 채워진 구조(Figure 1-4, 화살표)를 통해 감각기 내부로 연결되어 있었고, 소공들은 큐티클 내부로 들어가서 sensillum lumen 쪽으로 갈수록 폭이 넓어지는 경향을 보였다 (Figure 1-4). Trichoid sensilla의 내부(sensillum lumen)에는 다양한 수와 길이의 분지되거나 분지되지 않은 수상돌기(dendrite)가 있었다. 안테나 funiculus의 표면에 비교적 고른 분포를 보인 trichoid sensilla들은 다른 타입의 냄새감각기들에 비해 큰 각도를 이루며 안테나의 바깥쪽 방향을 향해 뻗어 있었다 (Figure 1-3A, B).



**Figure 1-3.** 호박과실파리의 안테나에 있는 trichoid sensilla(AnTr)는 다른 타입의 감각기 또는 spinule에 비해 큰 각도로 안테나 바깥쪽을 향해 뻗어 있다 (A, B). Trichoid sensilla의 큐티클 표면에는 많은 극미세공(nanoscale wall pore: wp)이 존재하여 (C, D) 이들의 주 기능이 냄새감각이라는 것을 나타내고 있다 Trichoid sensilla 단면의 SEM 사진을 보면 이들의 큐티클이 두꺼운 thick-walled sensilla라는 것을 보여준다 (D, E).

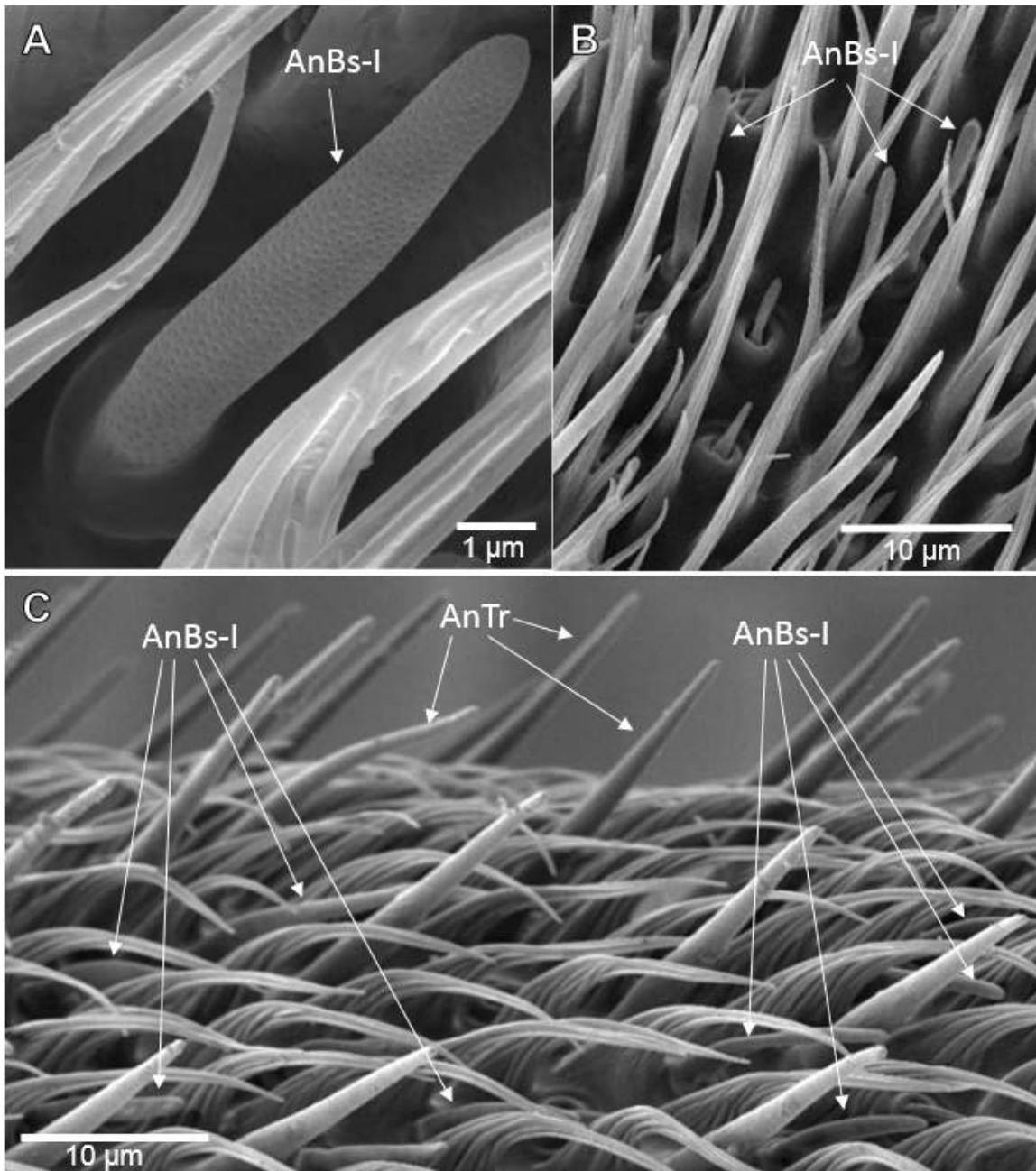


**Figure 1-4.** 호박과실파리의 암, 수컷 안테나에 존재하는 thick-walled sensilla의 단면 (수컷: A, B, C, D; 암컷: E, F). 이러한 형태의 thck-walled sensilla는 큐티클 표면의 wall pore(화살표)로부터 큐티클 내부의 lymph cavity에 이르는 통로가 전자밀도가 높은 물질(electron-dense material)로 채워져 있다. 또한, 각각의 wall pore의 큐티클 표면 부분의 직경이 sensillum lumen 부분의 직경에 비해 작은 것을 보여준다.

#### 다. Sensilla basiconica

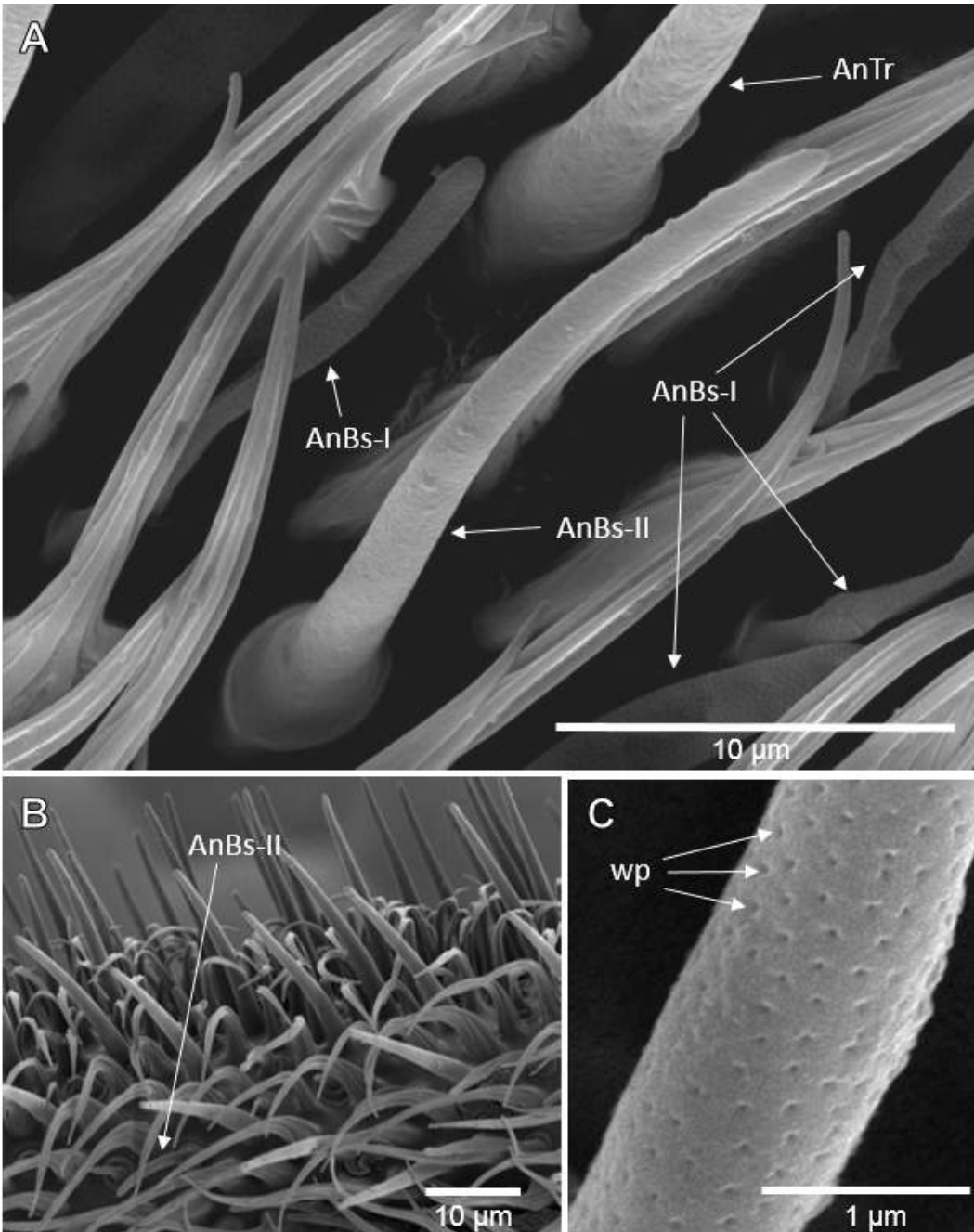
안테나에 있는 basiconic sensilla들(AnBs-I 및 AnBs-II) 및 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla들은 끝이 비교적 뾰족한 가는 기둥 모양을 하고 있었다 (Figure 1-5, 1-6). 호박과실파리 암, 수컷의 안테나에 있는 두 가지 타입의 basiconic sensilla인 basiconic I(AnBs-I)과 basiconic II(AnBs-II)는 길이에서 뚜렷한 차이를 보여 평균 길이가 각각  $10.47 \pm 0.015 \mu\text{m}$  ( $n = 52$ ) 및  $14.27 \pm 0.287 \mu\text{m}$  ( $n = 33$ ) 였으며, 이들의 폭은 비슷하여 각각  $1.07 \pm 0.024 \mu\text{m}$  ( $n = 52$ ) 및  $1.17 \pm 0.035 \mu\text{m}$  ( $n = 33$ )을 나타내었다 (Table 1-1). 호박과실파리의 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla(MpBs)는 평균 길이가  $10.46 \pm 0.416 \mu\text{m}$  ( $n = 51$ )로 안테나에 있는 basiconic I 감각기와 비슷하였다 (Table 1-1). 그러나, 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla의 중간부분 폭은  $1.51 \pm 0.047 \mu\text{m}$  ( $n = 51$ )로 안테나에 있는 두 가지 타입(AnBs-I 및 AnBs-II)의 basiconic sensilla에 비해 컸다. 호박과실파리 암, 수컷의 안테나에 있는 basiconic sensilla는 큐티클 벽이 평균 두께가  $109.3 \pm 4.05 \text{ nm}$  ( $n = 21$ )인 단일막(single-walled)으로 구성되어 있었다 (Figure 1-7). 고배율 SEM으로 관찰한 모든 basiconic sensilla들은 큐티클 표면에 많은 소공(nanoscale pore)들이 존재하였다 (Figures 1-5A, 1-6C, 1-7) and TEM (Figure 1-7). 안테나에 있는 basiconic I sensilla와 bbasiconic II sensilla의 큐티클 표면에 있는 소공들은 평균 직경이 각각  $53.7 \pm 3.14 \text{ nm}$  및  $18.7 \pm 0.67 \text{ nm}$  였고, 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla의 평균 직경은  $38.2 \pm 2.92 \text{ nm}$  (Table 1-1)였다 (Table 1-1). 안테나에

있는 basiconic I sensilla 및 basiconic sensilla II의 밀도는  $37.7 \pm 1.16 \text{ pores}/\mu\text{m}^{-2}$  및  $16.6 \pm 0.58 \text{ pores}/\mu\text{m}^{-2}$ 였고, 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla의 평균 밀도는  $30.6 \pm 1.93 \text{ pores}/\mu\text{m}^{-2}$ 였다 (Table 1-1). Basiconic sensilla의 전자밀도가 낮은(electron lucent) 물질을 통해 감각기 내부로 연결되어 있었으며 (Figure 1-7, 화살표), trichoid sensilla와는 달리 basiconic sensilla의 wall pore들은 큐티클 내부로 연결되는 통로의 직경이 sensillum lumen에 이르기까지 큰 차이가 없이 일정했다 (Figure 1-7). 감각기의 단면을 관찰했을 때, 일부의 basiconic sensilla에서는 내부에 lamellate dendrite branch가 존재하고 있었으며 (Figure 1-7A, D), 반면에 다른 basiconic sensilla의 내부에는 다양한 크기의 circular dendritic branch가 존재하였다 (Figure 1-7B, C, E, F).

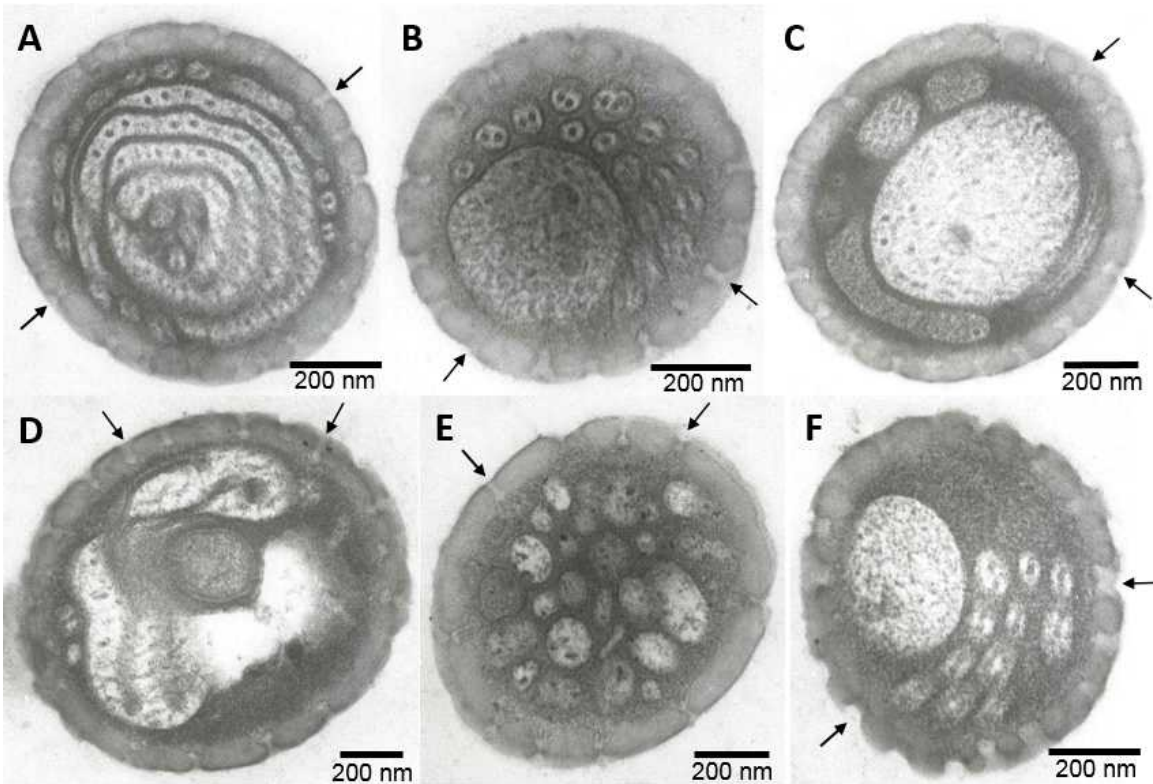


**Figure 1-5.** 호박과실파리 안테나에 존재하는 subtype I basiconic sensilla (AnBs-I). 끝 부분이 뭉툭한 가는 기둥 모양의 subtype I basiconic sensilla의 큐티

클 표면에는 많은 소공(nanoscale pore)들이 존재한다 (A). subtype I basiconic sensilla는 안테나의 끝부분을 향해 뻗어 있는 경향을 보이며, 비교적 random distribution을 나타낸다 (B, C). AnTr: antennal trichoid sensilla. AnTr: antennal trichoid sensilla.



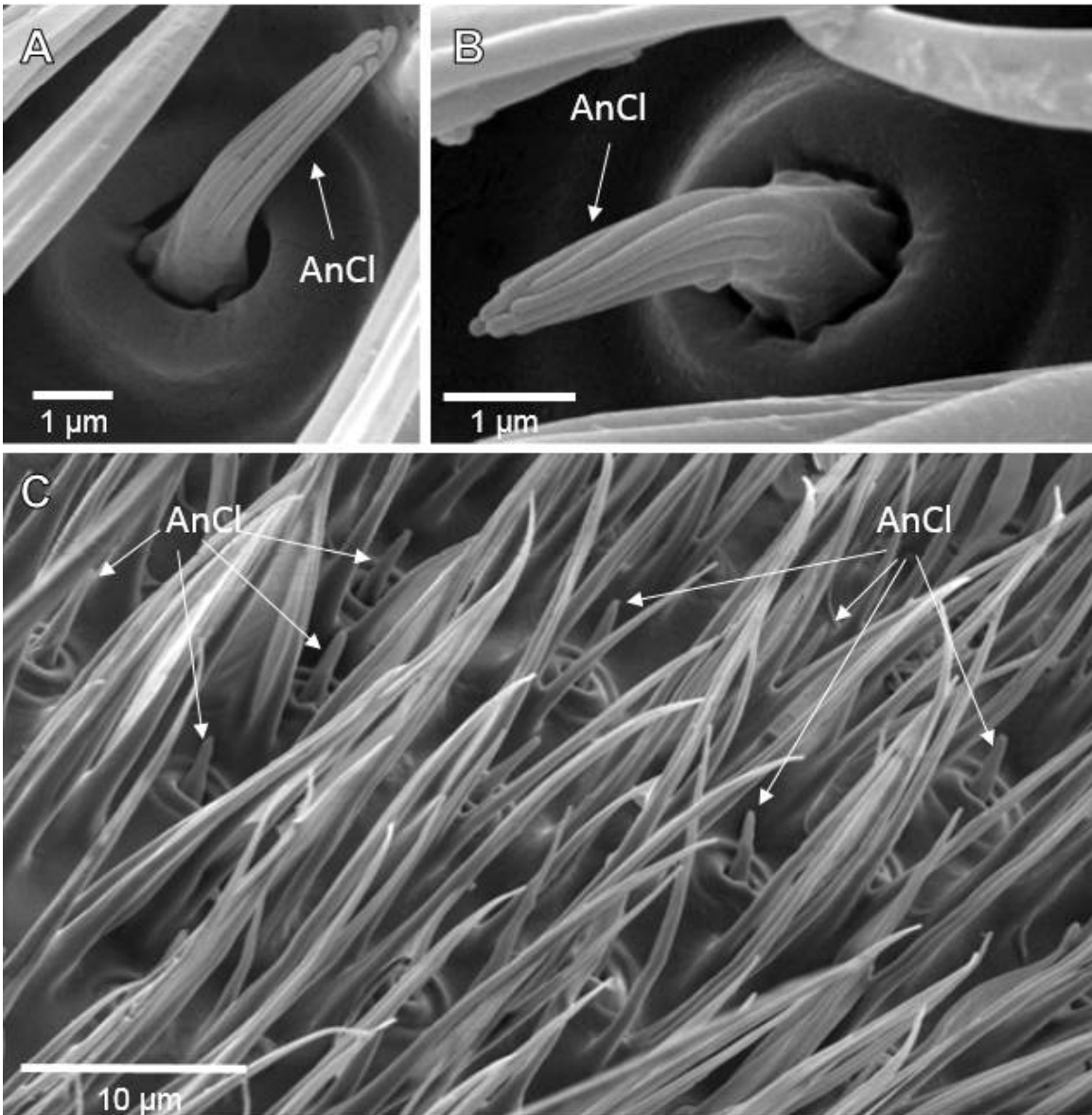
**Figure 1-6.** 호박과실파리 안테나에 존재하는 subtype II basiconic sensilla (AnBs-II) (AnBs-I: basiconic sensilla subtype I; AnBs-II: basiconic sensilla subtype II; AnTr: trichoid sensilla). 끝부분이 뭉툭한 길고 납작한 모양의 subtype II basiconic sensilla는 호박과실파리의 안테나에 가장 적게 분포하는 냄새감각기이다 (B, Table 1 참조). Subtype II basiconic sensilla의 큐티클 표면에는 많은 소공들이 존재하여 (C) 이 타입의 감각기의 주 기능이 냄새감각이라는 것을 암시한다.



**Figure 1-7.** 호박과실파리의 암, 수컷 안테나에 존재하는 thin-walled sensilla의 단면 (수컷: A, B, C; 암컷: D, E, F). 이러한 형태의 thn-walled sensilla는 큐티클 표면의 wall pore(화살표)로부터 큐티클 내부의 lymph cavity에 이르는 통로가 전자밀도가 낮은 물질(electron-lucent material)로 채워져 있다. 또한, 각각의 wall pore의 큐티클 표면 부분의 직경이 sensillum lumen 부분에 이르기까지 비슷한 것을 보여준다.

#### 라. Sensilla coeloconica

안테나에 있는 coeloconic sensilla는 큐티클 표면 바로 아래 부분에서 위로 솟아나온 짧은 peg 형태를 하고 있다 (Figure 1-8). Coeloconic sensilla는 중간 부분의 평균 직경이  $0.77 \pm 0.015 \mu\text{m}$ 이고 peg의 평균 길이가  $3.77 \pm 0.103 \mu\text{m}$  ( $n = 34$ )였고 (Table 1-1), 이 peg는 평균 직경  $2.8 \pm 0.12 \mu\text{m}$  ( $n=14$ )을 이루는 원형으로 솟아나온 큐티클의 중앙에 위치했다 (Figure 1-8). coeloconic sensilla는 peg의 표면에 길이 방향을 따라 간격 30-50 nm 정도의 홈 (groove)이 여러 개 존재하였다 (Figure 1-8A, B). 다른 타입의 냄새감각기들과는 달리, coeloconic sensilla에서는 큐티클 표면에 극미세공은 관찰되지 않았다. Coeloconic sensilla는 안테나 표면의 곳곳에 모여서 존재하는 ‘patch’ 형태의 분포를 나타냈고 (Figure 1-8C), 평균 밀도는  $14.6 \pm 2.76$  sensilla per  $10,000 \mu\text{m}^2$ 였다 (Table 1-1).

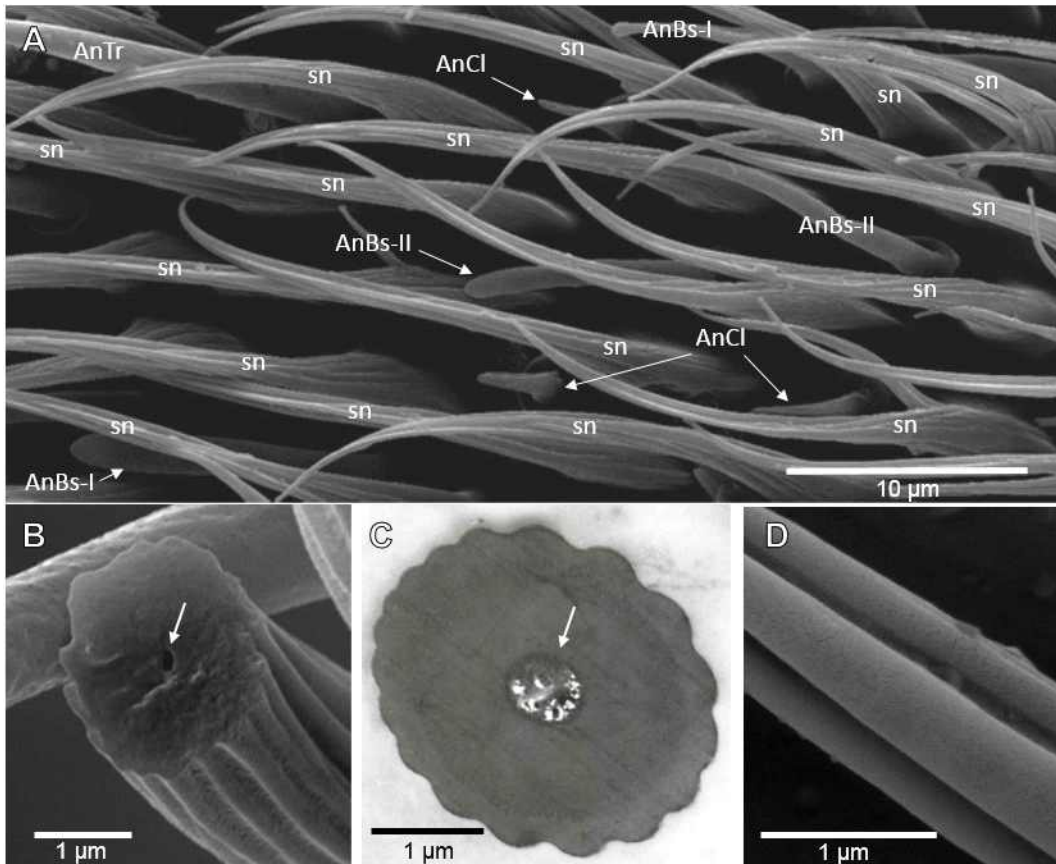


**Figure 1-8.** 호박과실파리 안테나에 존재하는 coeloconic sensilla(AnCl)는 peg 모양 감각기의 큐티클 표면에 길이 방향으로 홈(groove)이 여러 개 있다 (A, B). Coeloconic sensilla의 기부는 원형으로 돌출된 큐티클 중앙의 아래 부분으로부터 솟아나오는 구조를 하고 있다 (A, B). Coeloconic sensilla는 안테나의 곳곳에 부분적으로 집중된(clumped) 분포를 나타낸다 (C).



### 마. Non-olfactory setae

호박과실파리의 안테나 표면에는 많은 짧은 털(spicule)들이 존재하고 있었다 (Figure 1-2, 1-9). Spicule의 큐티클 표면에는 소공(nanoscale wall pore)은 관찰되지 않았다. 안테나에 있는 spicule의 단면을 보면 spicule 내부 중앙에 작은 튜브 모양의 공간이 존재하고 있음을 나타냈다 (Figure 1-9B, C). Spicule 표면에는 길이 방향으로 여러 개의 홈(groove)이 존재하였다 (Figure 1-9B~D). 하지만, spicule 표면에 있는 groove들은 spicule의 내부 공간으로 연결되지는 않았으며, 연결 통로가 되는 어떠한 다른 구조물도 발견되지 않았다 (Figure 1-9B, C).



**Figure 1-9.** 호박과실파리의 암, 수컷 안테나 표면에 밀집하여 분포하는 감각 기능을 갖지 않는 spicule들 (sn) (A). Spicule들 사이에 여러가지 타입의 냄새감각기들이 존재한다(A, AnTr, AnCl, AnBs-I and AnBs-II). 끝이 뾰족하고 비교적 긴 모양을 하는 spicule들의 큐티클 표면에는 길이 방향으로 여러 개의 홈(groove)이 존재하며 (B, D), spicule의 단면은 spicule이 두꺼운 큐티클로 이뤄져 있고 중앙에 직경이 아주 작은 길이 방향의 가느다란 공간이 존재한다는 것을 보여준다 (B, C: 화살표). Spicule의 표면을 고배율 SEM으로 관찰하고 (B) 단면을 TEM으로 관찰했을 때 (C) 소공(wall pore)이 존재하지 않는 것을 보여주어 spicule은 냄새감각 기능을 갖고 있지 않다는 것을 암시했다. AnBs-I: antennal basiconic sensilla subtype I; AnBs-II: antennal basiconic sensilla subtype II; AnCl: antennal coeloconic sensilla; AnTr: antennal trichoid sensilla; sn: spicules.

### 바. Olfactory sensilla on the antennae

안테나는 곤충의 주요 냄새감각기관이며, 많은 곤충들에서 냄새감각기(olfactory sensilla)는 안테나에 가장 많이 분포하는 감각기이다 (Stocker, 2001; Sukontason et al., 2004; Frasnelli et al., 2010; Sun et al., 2011). 안테나의 냄새감각기는 이들을 몇 가지의 형태적 타입으로 분류할 수 있는 특징적인 형태적 특성들을 보여준다 각 분류군에 속하는 곤충들은 보통 그 분류군

에 특이적인 형태적 타입의 냄새감각기들을 안테나에 갖고 있다 (Ploomi et al., 2003; Sukontason et al., 2004; Xiangqun et al., 2014). 예를 들어, 말벌류(wasp)는 안테나에 elongated placoid sensilla를 많이 갖고 있는 것이 특징이며 (Bleeker et al., 2004), 나방류 수컷에는 수컷 특이적인 long trichoid sensilla가 존재하는 것이 특징이다 (Hansson et al., 1995; Cossé et al., 1998; Baker et al., 2004). 우리의 관찰 결과는 호박과실파리 암컷과 수컷이 안테나에 네 가지의 형태적으로 특징적인 냄새감각기를 갖고 있다는 것을 보여준다. 많은 수의 trichoid, basiconic 그리고 coeloconic sensilla가 안테나에 존재하는 것은 파리류의 공통적인 특징으로 보이며 (Sukontason et al., 2004; Chen & Fadamiro, 2008; Setzu et al., 2011), 유사한 결과가 *Hydrotaea chalcogaster* (Muscidae) (Sukontason et al., 2007), *Cochliomyia hominivorax* (Fernandes et al., 2004), *Pseudacteon tricuspis* (Chen & Fadamiro, 2008) 및 *Protophormia terraenovae* (Setzu et al., 2011) 등의 파리목 곤충에서 보고된 바 있다. 형태적 특징을 띠는 각 그룹의 냄새감각기들은 특정한 범위의 냄새물질을 감지하는 기능을 갖고 있을 것으로 사료된다. 특정한 형태를 갖는 냄새감각기가 특정한 종류의 냄새물질을 탐지한다는 좋은 예로 나방의 수컷 특이적인 long trichoid sensilla를 들 수 있는데, 이들은 동종의 암컷이 방출하는 성페로몬을 고감도로 감지하는 특수한 냄새감각 기능을 갖는다 (Hansson et al., 1995; Cossé et al., 1998; Baker et al., 2004). 하지만, 다른 형태적 타입의 냄새감각기들이 어떤 종류의 냄새물질을 탐지하는 역할을 하는 지에 대해서는 아직 충분히 알려져 있지 않다.

#### 사. Fine structure of olfactory sensilla

Trichoid sensilla와 basiconic sensilla는 모두 큐티클이 단일벽(single-walled)으로 이뤄져 있으며, 많은 소공(nanoscale pore)이 표면에 존재한다. 그러나, 호박과실파리의 안테나에 있는 trichoid sensilla와 basiconic sensilla 사이에 큐티클의 두께는 뚜렷한 차이가 있어서, trichoid sensilla는 큐티클 벽이 두껍고 (thick-walled) basiconic sensilla는 큐티클 벽이 상대적으로 얇았는데, 이러한 사실은 다른 곤충들에서 보고된 것과 유사하다. 예를 들어, 파리류인 *Ceratitis capitata* (Tephritidae)의 안테나에 있는 단일막으로 된 basiconic sensilla는 thin-walled이며 (Mayo et al., 1987), 딱정벌레인 *Tribolium castaneum* (Tenebrionidae)의 안테나에 있는 trichoid sensilla는 thick-walled이다 (Ali et al., 2016). 하지만 이것이 보다 공범위한 곤충에서도 일반적으로 적용될 수 있는 사실인지는 아직 불분명하다. Trichoid sensilla와 basiconic sensilla 사이에 큐티클 벽의 두께에 차이가 나는 것은 이들에 필요한 물리적 강도와 관련이 있을 가능성이 있다. Trichoid sensilla는 가늘고 긴 모양을 하고 있으며 공기중에 충분히 노출되어 있어서 이들의 모양을 유지하는 데에 두꺼운 큐티클이 도움이 될 수 있다. 반면에, basiconic sensilla는 길이가 비교적 짧고, 밀집한 다른 털들 사이에 위치하고 있기 때문에, 안테나 표면을 타고 흐르는 공기의 흐름에 의한 물리적 영향을 훨씬 적게 받을 것이며, 따라서 trichoid sensilla에 비해 물리적 강도가 낮아도 될 것이다. 이런 맥락으로 볼 때, 고밀도로 존재하는 spinule들이 basiconic sensilla 주변의 공기 흐름을 조절하여 basiconic sensilla에 미치는 물리적 영향을 줄이고 따라서 basiconic sensilla의 모양을 유지하도록 하는 중요한 역할을 할 가능성이 있다.

다양한 형태에도 불구하고, 곤충의 냄새감각기는 많은 수의 소공(nanoscale pores)이 표면에 존재한다는 공통된 특징을 갖고 있다 (Onagbola & Fadamiro, 2008; Kim et al., 2016; Roh et al., 2016; Wee et al., 2016). 한 가지 예외는 coeloconic sensilla인데 이들은 wall pore가 없

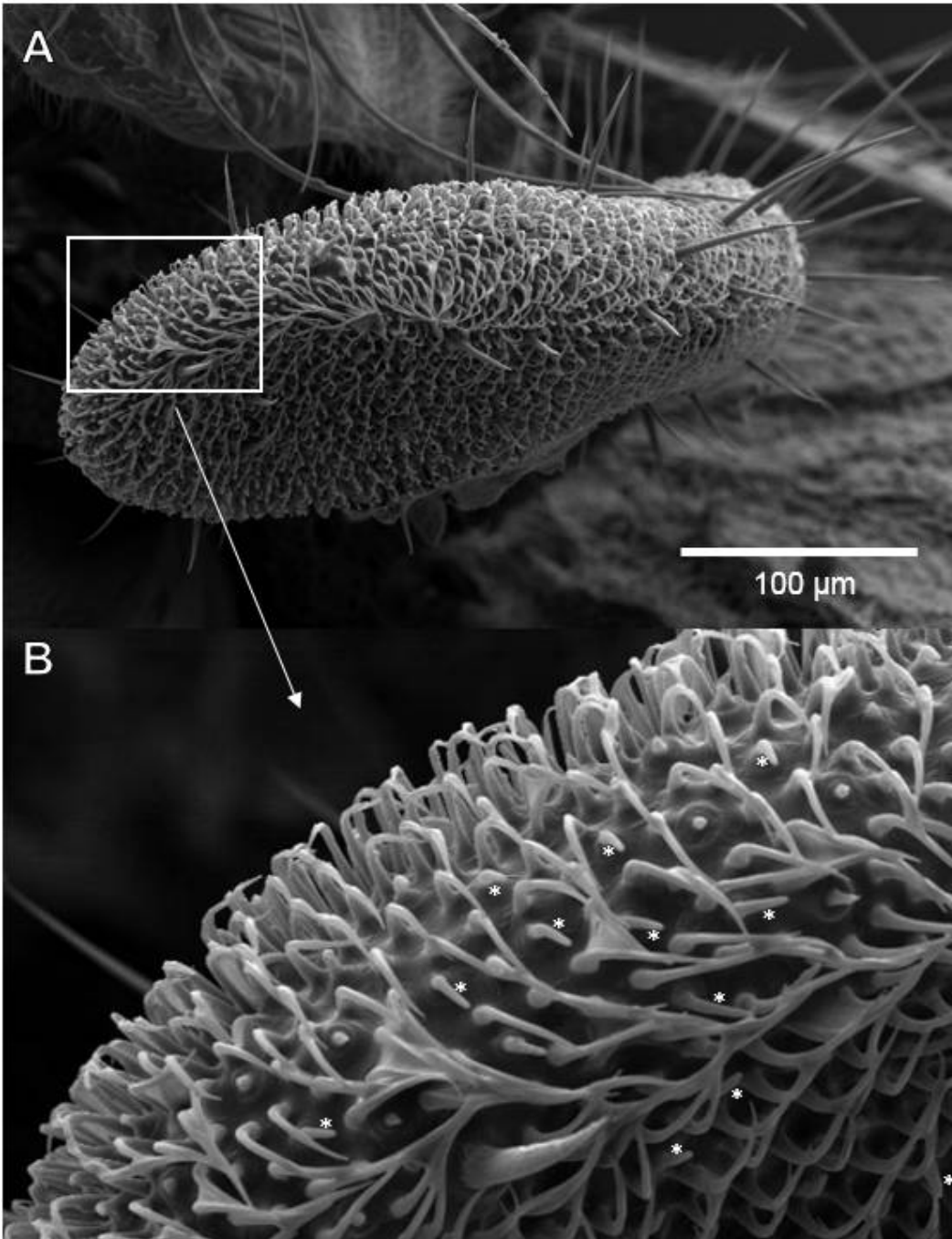
는 대신 감각기 표면에 길이 방향으로 여러 개의 groove들이 있는데 (Faucheux et al., 2006; Diongue et al., 2013; Roh et al., 2016), 이 groove들은 큐티클이 아주 얇아서 이 부분을 통해서 냄새분자들이 감각기 내부로 들어간다고 판단되고 있다 (Zacharuk, 1980; Steinbrecht, 1997; Shields & Hildebrand, 1999; Maitani et al., 2010). 우리의 관찰 결과는 호박과실파리의 암컷과 수컷 안테나에 존재하는 trichoid sensilla와 basiconic sensilla의 큐티클 표면에 많은 wall pore들이 존재하며, 따라서 이들이 *P. tricuspis* (Chen & Fadamiro, 2008), *P. terraenovae* (Setzu et al., 2011), 및 *Stomoxys calcitrans* (Muscidae) (Tangtrakulwanich et al., 2011) 등의 다른 파리류 곤충 및 다른 그룹의 곤충들(Roh et al., 2016; Wee et al., 2016)에서 처럼 냄새감각 기능을 할 것이라는 것을 암시하고 있다. 일부 곤충에서 안테나의 coeloconic sensilla로부터 extracellular recording을 한 결과는 이들 coeloconic sensilla의 주 기능이 냄새 감각이라는 것을 보여주며 (Hallberg et al., 1994; Pophof, 1997; Pophof et al., 2005; Yao et al., 2005), 따라서 호박과실파리의 안테나에 있는 coeloconic sensilla의 주 기능도 냄새 감각일 것으로 추정된다.

호박과실파리의 안테나에 있는 trichoid sensilla 및 basiconic sensilla의 wall pore에서 sensillum lumen으로 연결되는 통로의 전자밀도가 뚜렷하게 다르다는 사실은 trichoid sensilla의 wall pore와 basiconic sensilla의 wall pore의 화학물질 조성이 서로 다르다는 것을 암시한다. Atomic force microscopy를 통한 연구에서, Maitani 등(2010)은 수컷 특이적인 long trichoid sensilla에 있는 wall pore의 화학물질 조성이 두 가지 나방(*Helicoverpa zea* (Noctuidae) and *Utethesia ornatrix* (Erebidae))사이에 차이가 있다는 것을 보여주면서, 이러한 wall pore 간의 화학물질 조성의 차이가 각 종의 성페로몬 성분이 wall pore를 통해 감각기 내부로 들어가는 것과 관련이 있을 것이라고 하였다. 이처럼, 호박과실파리 안테나에 있는 trichoid sensilla의 wall pore가 전자밀도가 높은 물질로 이뤄져 있고, basiconic sensilla에 있는 wall pore는 전자밀도가 낮은 물질로 이뤄져 있는 것은, 각 물질의 물리화학적 성질에 부합하는 종류의 물질만을 선택적으로 감각기 내부로 들어가는 것을 촉진하는 것과 관련이 있을 수 있다.

#### 4. 호박과실파리 작은턱수염의 냄새감각기

##### 가. 작은턱수염의 냄새감각기

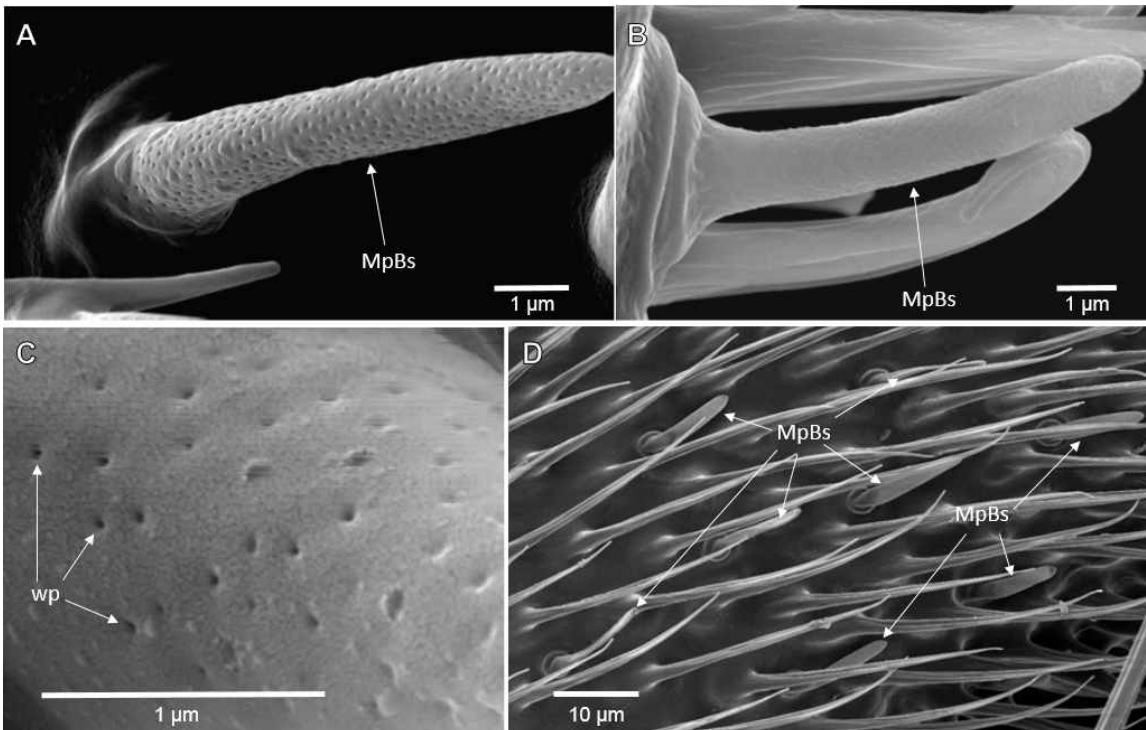
안테나에 있는 감각기들과는 달리, 호박과실파리 암, 수컷의 작은턱수염에는 한 가지 타입(MpBs)의 basiconic sensilla만이 존재하였다 (Table 1-1, Figure 1-10, 1-11). 호박과실파리의 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla는 이들의 모양과 표면 구조를 바탕으로 명확히 서로 다른 타입으로 분류할 수는 없었지만, 중간 지점의 폭과 sensilla의 길이를 X-Y scattergram으로 나타냈을 때 각각의 sensilla의 분포가 scattergram 상에서는 두 그룹으로 구분될 수도 있다는 것을 보여주었다 (Figure 1-13B MpBs Group I 및 II). 호박과실파리의 암컷과 수컷 사이에는 작은턱수염의 basiconic sensilla의 형태에 분명한 차이는 발견할 수 없었다. 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla는 비교적 균일한 분포를 나타내었고, 이들의 밀도는  $41.0 \pm 6.19$  sensilla per  $10,000 \mu\text{m}^2$ 였다 (Table 1-1).



**Figure 1-10.** 호박과실파리의 작은턱수염 표면에는 많은 털들이 분포한다 (A). 작은턱수염의 끝부분 일부(사각형)를 확대한 사진에는 asterisk(\*)로 표시된 많은 basiconic sensilla들이 감각기능이 없는 털인 spinule들 사이에 존재하는 것을 보여준다 (B).

### 나. Sensilla basiconica

호박과실파리의 안테나와 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla(안테나: AnBs-I, AnBs-II; 작은턱수염: MpBs)는 끝부분이 뭉툭한 가는 기둥 모양을 하는 것이 특징이다 (Figure 1-10, 1-11). 호박과실파리의 암컷과 수컷 안테나에 있는 subtype I basiconic sensilla(AnBs-I)와 subtype II basiconic sensilla(AnBs-II)는 길이가 서로 달라서 평균 길이가 각각  $10.47 \pm 0.015 \mu\text{m}$  ( $n = 52$ ) 및  $14.27 \pm 0.287 \mu\text{m}$  ( $n = 33$ )였다 (Table 1-1). 하지만 이들의 폭은 거의 비슷하여 중간 지점의 평균 폭이 각각  $1.07 \pm 0.024 \mu\text{m}$  ( $n = 52$ ) 및  $1.17 \pm 0.035 \mu\text{m}$  ( $n = 33$ )였다 (Table 1-1). 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla(MpBs)의 평균 길이는  $10.46 \pm 0.416 \mu\text{m}$  ( $n = 51$ )로 안테나에 있는 subtype I basiconic sensilla의 길이와 비슷하였다 (Table 1-1). 하지만, 작은턱수염에 존재하는 basiconic sensilla의 중간지점 평균 폭은  $1.51 \pm 0.047 \mu\text{m}$  ( $n = 51$ )로 안테나에 있는 두 가지 subtype의 basiconic sensilla의 폭에 비해 컸다 (Table 1-1). 호박과실파리 암, 수컷 안테나에 있는 basiconic sensilla는 단일층의 큐티클로 둘러싸여 있고, 큐티클의 두께가 얇은 thin-walled sensilla로 큐티클의 평균 두께가  $109.3 \pm 4.05 \text{ nm}$  ( $n = 21$ )였다 (Figure 11). 표면을 SEM 및 TEM을 사용하여 고배율로 관찰한 모든 basiconic sensilla들은 큐티클 표면에 많은 소공(nanoscale pore)이 존재한다는 것을 보여주었다 (SEM: Figures 4A, 5C, 9A, C; TEM: Figure 1-11). 안테나의 subtype I basiconic sensilla와 subtype II basiconic sensilla의 큐티클 표면에 있는 wall pore들은 평균 직경이 각각  $53.7 \pm 3.14 \text{ nm}$  및  $18.7 \pm 0.67 \text{ nm}$ 였으며, 작은턱수염의 basiconic sensilla의 큐티클 표면에 있는 wall pore들의 평균 직경은  $38.2 \pm 2.92 \text{ nm}$ 였다 (Table 1-1). 안테나에 있는 subtype I basiconic sensilla와 subtype II basiconic sensilla, 그리고 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla의 분포 밀도는 각각  $37.7 \pm 1.16 \text{ pores}/\mu\text{m}^{-2}$ ,  $16.6 \pm 0.58 \text{ pores}/\mu\text{m}^{-2}$ , 및  $30.6 \pm 1.93 \text{ pores}/\mu\text{m}^{-2}$ 였다 (Table 1-1).

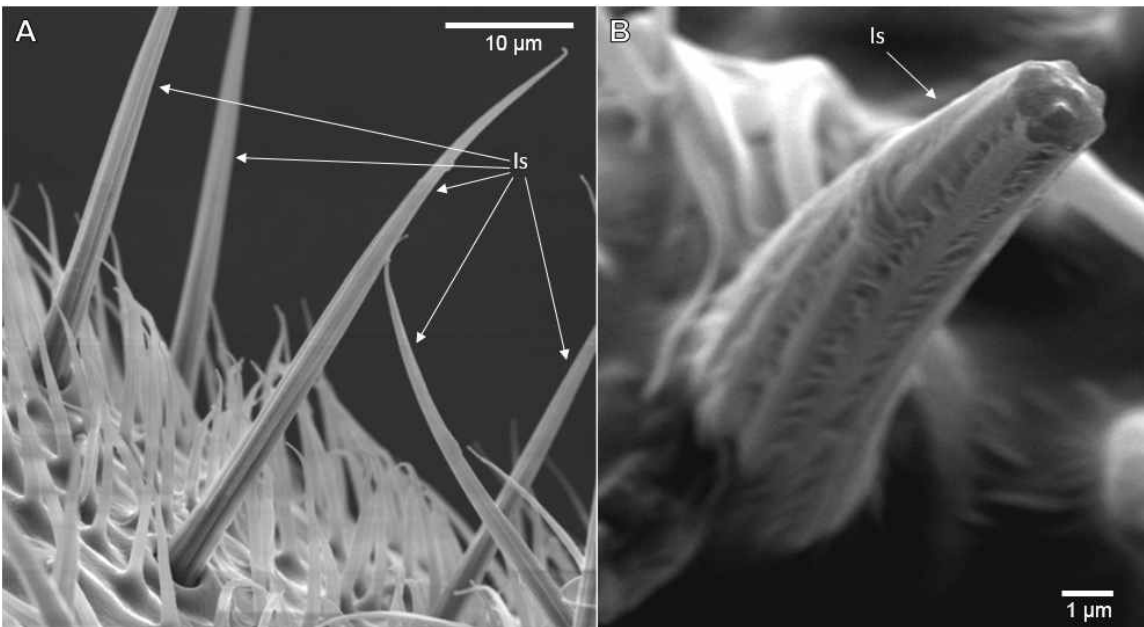


**Figure 1-11.** 호박과실파리의 작은턱수염에 존재하는 basiconic sensilla(MpBs). 끝부분이 뭉툭한 짧은 천통형 막대 모양의 basiconic sensilla (A, B) 표면에는 다수의

소공(nanoscale pore)들이 존재하여 (A, C) 이 감각기의 주 기능이 냄새 감각기라는 것을 보여준다. 이들 basiconic sensilla는 작은턱수염에 random distribution을 나타낸다 (D).

#### 다. Non-olfactory setae

호박과실파리의 작은턱수염에는 많은 spinule(sn)들이 존재한다 (Figures 1-12). 이들 spinule의 큐티클 표면에는 wall pore가 존재하지 않는 것으로 확인되었다. Spinule의 큐티클 표면에는 길이 방향으로 여러 개의 홈(groove)이 존재하였다 (Figure 1-12). 하지만 이들 홈(groove)은 전자현미경으로 확인할 수 있는 구조물에 의해 spinule의 내부로는 연결되지 않는 것으로 확인되었다. 호박과실파리 암, 수컷의 작은턱수염에는 여러 개의 아주 긴 센털(setae: ls)들이 존재하였다. 이 센털(setae)들은 길이가 약 50-100  $\mu\text{m}$  정도로, 작은턱수염 표면에 산재해 있었으며, 작은턱수염의 기부에서 다소 집중된 분포를 보였다 (Figure 1-12). 이 센털들은 각각 기부에서 소켓(socket)이 있었으며, 단면으로 절단했을 때 센털의 내부에는 냄새감각기나 spinule에서 관찰되는 것과 같은 빈 공간은 존재하지 않았다 (Figure 1-12).



**Figure 1-12.** 호박과실파리의 작은턱수염에 존재하는 기부에서 소켓을 가진 긴 센털(long setae: ls). 이들 긴 센털들은 끝이 뾰족하며 (A, ls), 길이 방향으로 큐티클 표면에 여러 개의 홈(groove)이 있다 (A, B). 이들 긴 센털들은 횡단면을 관찰했을 때 내부에 아무런 공간이 없는 것으로 보여 (B) 이들이 냄새감각 기능은 갖지 않는 것으로 판단되었다.

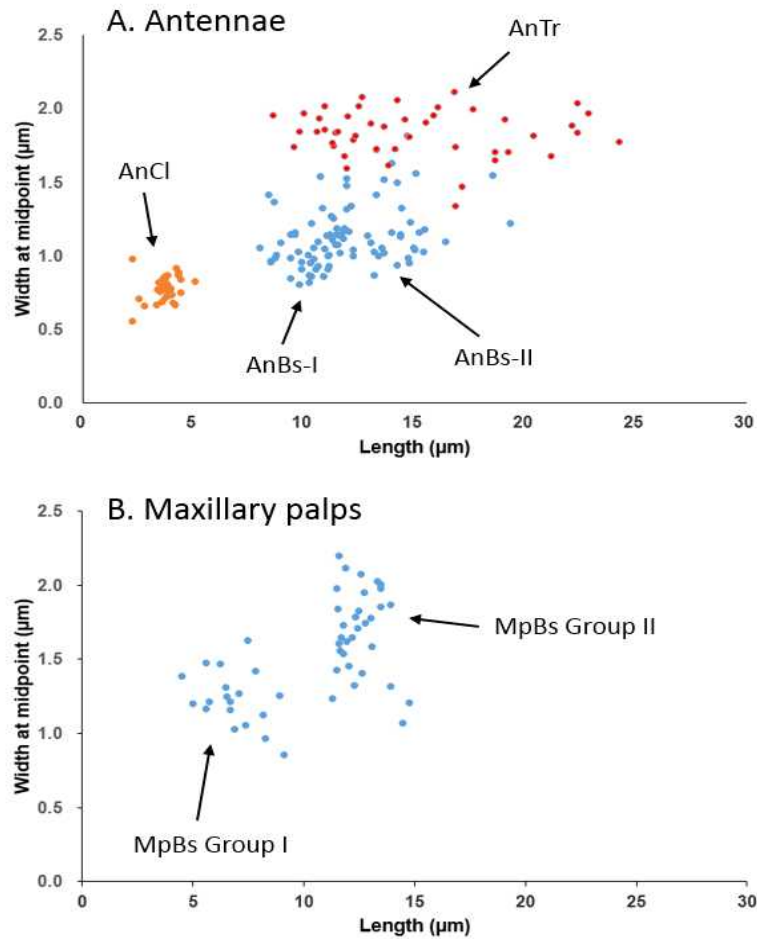
우리의 관찰 결과는 호박과실파리의 암컷과 수컷 작은턱수염에 다수의 basiconic sensilla가 존재하는 것을 보여주었다. Basiconic sensilla가 작은턱수염에 다수 존재하는 것은 여러 파리목 곤충에서 공통적인 것으로 보여서, 여섯 종의 *Bactrocera* 속 과실파리들 (Zhang et al., 2011), *Drosophila melanogaster* (Drosophilidae) (de Bruyne et al., 1999), *Chrysomya nigripes* (Calliphoridae) (Ngern et al., 2007), 및 *Neobellieria bullata* (Sarcophagidae) (Wasserman & Itagaki, 2003) 등의 파리목 곤충들에서 이러한 사실이 보고된 바 있다. 호박과실파리의 작은

턱수염에 존재하는 basiconic sensilla의 길이는 *B. curcurbitae*, *B. diaphora*, *B. minax* 및 *B. tau* 등의 다른 *Bactrocera* 속 과실파리들이 작은턱수염에 갖고 있는 basiconic sensilla의 길이와 비슷하였으나, 두 가지 *Bactrocera* 속 파리류(*B. dorsalis* and *B. scutellata*)가 작은턱수염에 갖고 있는 basiconic sensilla에 비해서는 길이가 길었고, 이들 모든 종에서 작은턱수염의 basiconic sensilla의 폭은 서로 비슷했다 (Zhang 등, 2011). 호박과실파리의 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla의 밀도는 여섯 종의 다른 *Bactrocera* 속 과실파리들(Zhang et al., 2011) 또는 *Musca domestica*나 *D. melanogaster* (60 sensilla per 10,000  $\mu\text{m}^2$ ) 등의 다른 파리류 곤충들의 작은턱수염에 존재하는 basiconic sensilla에 비해 그 밀도가 다소 낮았다 (Smallegange et al., 2008).

안테나와는 달리, 호박과실파리의 작은턱수염에는 한 가지 형태적 타입의 냄새감각기인 basiconic sensilla 가 분포하였다 (Table 1-1, Fig. 1-7, 1-8). 작은턱수염에 존재하는 sensilla basiconica 냄새감각기의 종류와 분포는 호박과실파리 암, 수컷 사이에 차이가 없었다. 이들 sensilla basiconica 는 작은턱수염에 고르게 분포하여 그 분포 밀도가 10,000  $\mu\text{m}^2$ 당  $41 \pm 6.19$ 로 나타났다 (Table 1-1).

#### 5. 호박과실파리 안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각기들의 비교

안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각기들의 종류와 형태가 다르다는 사실은 안테나의 냄새감각기와 작은턱수염의 냄새감각기가 서로 다른 냄새감각 기능을 갖을 것이라는 것을 암시한다. 해부학적으로, 작은턱수염은 입틀(mouth parts)의 일부이며, 따라서 작은턱수염에 존재하는 basiconic sensilla들은 섭식과 관련한 냄새 물질의 탐지와 관련이 있을 가능성이 크다. 예를 들어, 모기 *Culex quinquefasciatus* (Culicidae)의 작은턱수염에 있는 냄새감각세포는 여러가지 식물 냄새 성분에 민감하게 반응하였는데, 이는 모기의 작은턱수염이 식물의 당밀(nectar)과 관련한 냄새물질 탐지와 관련이 있을 것이라고 해석되었다 (Syed & Leal, 2007). 안테나의 냄새감각기들과 마찬가지로, 호박과실파리의 작은턱수염에 있는 basiconic sensilla는 이들이 형태적으로는 유사하지만 기능적으로는 서로 다른 특정한 종류의 냄새 물질을 감지할 수 있도록 특성화된 냄새감각기능을 하는 여러 가지 종류의 냄새감각기들로 구성되어 있을 가능성이 클 것이다. 이러한 가정은 *Bactrocera* 속의 두 가지 과실파리 종에서 작은턱수염에 수컷 특이적으로 각 종의 parapheromone 성분을 감지하는 냄새감각세포들이 존재한다는 최근의 보고로 뒷받침된다 (Park et al., 2018; Verschut et al., 2018).



**Figure 1-13.** 각각의 냄새감각기의 길이와 폭을 X-Y scattergram으로 나타낸 그래프는 호박과실파리의 안테나(A)와 작은턱수염(B)에 있는 다른 종류의 냄새감각기들이 이 두 지표를 기준으로 서로 구분될 수 있음을 보여준다. 작은턱수염에는 길이와 폭을 기준으로 냄새감각기들이 두 개의 그룹으로 나뉠 수 있다 (B). AnBs-I: antennal basiconic sensilla subtype I; AnBs-II: antennal basiconic sensilla subtype II; AnCl: antennal coeloconic sensilla; AnTr: antennal trichoid sensilla; MpBs: maxillary palp basiconic sensilla.

## 6. Conclusion

우리의 이번 연구는 호박과실파리의 안테나와 작은턱수염에 각각 형태적으로 특징적인 냄새감각기들이 존재한다는 것을 보여준다. 우리의 연구는 또한 이 종에서 안테나와 작은턱수염이 서로 다른 냄새감각 기능을 할 것이라는 것도 보여주고 있다. 따라서, 이번 연구에서 밝혀진 각 타입의 냄새감각기들이 어떤 역할을 하는지 알아보는 것은 흥미로울 것이다. 안테나와 작은턱수염 사이에 냄새감각과 관련한 기능적인 차이가 호박과실파리의 행동과 어떤 관련이 있는지를 이해하는 것도 유용할 것이다.



## 제2절 호박꽃과실파리의 냄새감각기

이번 연구를 통해 우리는 호박 등 여러 박과 작물의 해충인 호박꽃과실파리의 cue lure 및 raspberry ketone에 대한 행동 유인 활성이 작은턱수염의 냄새감각기에 의해 중재된다는 것을 밝혔다. 호박꽃과실파리 암컷과 수컷의 안테나는 세 가지 형태적 타입(basiconic, trichoid and coeloconic)의 냄새감각기들을 갖고 있으며 식물 냄새 물질인 3-octanone과 methyl eugenol에 유의한 electroantennogram (EAG) 반응을 나타내는 반면에, 다른 *Bactrocera* 속 과실파리들을 유인하는 활성이 있는 cue lure, raspberry ketone 및 zingerone은 호박꽃과실파리의 안테나에 아무런 EAG 반응을 일으키지 않았다. 이와는 대조적으로, 한 가지 형태적 타입의 basiconic sensilla를 갖고 있는 호박꽃과실파리 암, 수컷의 작은턱수염은 cue lure와 raspberry ketone에 강한 electropalpogram(EPG) 반응을 나타낸 반면에 3-octanone에 대해서는 단지 작은 EPG 반응만을 나타내어 이 종에서 작은턱수염이 cue lure와 raspberry ketone을 감지하는 역할을 한다는 것을 보여주었다. 야외 트랩 실험에서, cue lure와 raspberry ketone은 호박꽃과실파리 수컷에 대해 강한 유인력을 나타내었는데, cue lure의 유인력이 raspberry ketone의 유인력에 비해 훨씬 큰 것으로 나타났다. Methyl eugenol과 zingerone은 유의한 EPG 반응을 일으키긴 하지만 야외 트랩실험에서는 호박꽃과실파리에 대해 유인력을 나타내지 않았다. 우리의 연구는 호박꽃과실파리의 cue lure 및 raspberry ketone에 대한 행동 유인이 작은턱수염에 존재하는 냄새감각세포에 의해 중재된다는 것을 보여준다.

안테나는 곤충의 가장 중요한 냄새감각기관으로, 안테나에는 여러가지 형태적 타입의 냄새감각기들이 존재하며, 이들의 냄새감각 기능은 이들 감각기의 큐티클 표면에 있는 다수의 소공(nanoscale pore)의 존재에 의해 형태적으로 뒷받침된다 (Zacharuk, 1980; Chen and Fadamiro, 2008; Onagbola and Fadamiro, 2008; Setzu et al., 2011; Kim et al., 2016; Roh et al., 2016; Wee et al., 2016). 곤충에서 페로몬이나 다른 semiochemical들은 대부분 안테나에 있는 냄새감각기들에 의해 감지된다 (Larsson et al., 2001; Baker et al., 2004). 그러므로, 안테나의 반응을 측정하는 것은 새로운 semiochemical을 발견하는 유용한 수단이 되어 왔으며, 많은 페로몬과 기타 semiochemical들이 GC-EAD(a coupled gas chromatograph-electroantennogram detection)를 사용한 연구에 의해 동정되어 왔다 (Zhu & Park, 2005; Nojima et al., 2005). 이와는 대조적으로, 작은턱수염의 냄새감각 기능에 대해서는 *Drosophila melanogaster* (de Bruyne et al., 1999; Hallem & Carlson, 2004; Dweck et al., 2016), *Anopheles gambiae* (Lu et al., 2007), *Culex quinquefasciatus* (Syed & Leal, 2007), *Neobellieria bullata* (Wasserman & Itagaki, 2003), and *Bactrocera tryoni*, (Verschutt et al., 2018) 등의 일부 파리목 곤충에서 제한적인 연구만 이뤄졌을 뿐이다. 특히, 작은턱수염은 곤충의 냄새물질에 의한 원거리 유인과는 관계가 없을 것으로 생각되어 왔는데 이는 작은턱수염이 해부학적으로 섭식활동과 관련이 있고 곤충에서는 일반적으로 안테나에 비해 작은턱수염에 냄새감각기의 종류와 수가 상대적으로 적은 때문이었다. 하지만, 일부 곤충 종에서는 작은턱수염에도 냄새감각기가 잘 발달되어 있으며 (Wang et al., 2012; Isberg et al. 2013; Liscia et al., 2013), 일부 연구에서는 작은턱수염의 냄새감각 기능이 섭식 활동과 직접 관련된 냄새물질의 탐지에만 국한되는 것은 아닐 수 있다는 보고도 있었다 (Dweck et al., 2016; Verschutt et al., 2018). 작은턱수염에 냄새감각기가 존재한다는 사실은 *Culicoides biting midges* (Isberg et al., 2013), *Lispe neimongola* (Zhang et al., 2013), *Aedes aegypti* (Bohbot et al., 2014), *A. gambiae* (Omondi et al., 2015), *Sarcophaga tibialis* (Pezzi et

al., 2016) 및 몇 가지 *Bactrocera* 속 과실파리 (Zhang et al., 2011) 등의 여러 파리목 곤충에서 보고된 바 있다. 특히, 작은턱수염의 명확한 생리적 또는 행동적 냄새감각 역할이 모기, 파리 및 흡혈성 midge 같은 파리목 곤충에서 보고된 바 있다 (Hallem & Carlson, 2004; Lu et al., 2007; Dweck et al., 2016; Verschutt et al., 2018).

*Bactrocera* 속의 많은 과실파리들은 과수 작물의 주요 해충이며, 세계 여러 나라에서 가장 중요하고 광범위한 검역해충이다. *Bactrocera* 속의 여러 종 과실파리 수컷은 methyl eugenol (4-allyl-1,2-dimethoxybenzene), cue lure [4-(acetoxypheyl)-2-butanone], raspberry ketone [4-(4-hydroxyphenyl)-2-butanone] 및 zingerone [4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone] (Drew & Hooper, 1981; Khoo & Tan, 2000; Khoo & Tan, 2005) 등 parpheromone 및 이들과 구조적으로 유사한 화합물에 유인된다. 이러한 물질들은 유인제로 개발되어 대상 과실파리 종을 탐지하고, 침입 후 확산을 방지하며, 박멸을 하는 프로그램의 중요한 도구로 사용되어 왔다 (Sivinski & Calkins, 1986; Renou & Guerrero, 2000). 하지만 이러한 물질은 일부 과실파리에서만 가용하며, *Bactrocera* 속의 많은 과실파리들에 대한 유인제는 아직 개발이 필요한 실정이다. *Bactrocera* 속 과실파리들의 안테나는 많은 종류의 냄새감각기들이 존재하고 있으며 (Zhang et al., 2011), 이는 안테나가 교미나 기주 탐색 등의 주요 활동에 관련한 냄새물질을 탐지하는 중요한 냄새감각기관이라는 것을 암시한다. 그러나, 최근 쿨즐랜드과실파리(*B. tryoni*)가 cue lure에 유인되는 것이 안테나가 아니라 작은턱수염에 의해서 중재된다는 보고가 이뤄질 때까지 (Verschutt et al., 2018) parpheromone 물질들도 안테나에서 감지되는지는 분명하지 않았다. 만약 *Bactrocera* 속 과실파리들에서 작은턱수염이 근거리뿐 아니라 원거리 냄새통신에도 중요한 역할을 한다면, 작은턱수염의 후보 물질들에 대한 반응을 전기생리학적으로 측정함으로써 이들 과실파리에 대한 새로운 유인제를 개발할 수 있을 것이다.

호박꽃과실파리(*B. scutellata*; Diptera: Tephritidae)는 한국, 일본, 중국, 대만 등의 나라에서 애호박, 단호박 및 기타 박과 식물의 꽃을 가해하는 해충이다 (Miyatake et al., 2000; Mun et al., 2003; Kim et al., 2010; Jeon et al., 2012; Ovtshinnikova 2012; Han et al., 2017). 본 연구에서, 우리는 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염이 *Bactrocera* 속 과실파리류에 알려진 parpheromone과 식물 냄새물질을 탐지하는 데에 어떠한 역할을 하는지 알아보았다. 주사전자현미경(SEM) 관찰을 통해서 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염에 존재하는 냄새감각기들을 형태적으로 동정하고 분류하였다. 이들 물질에 대한 안테나의 electroantennogram (EAG) 반응과 작은턱수염의 electropalpogram (EPG) 반응을 측정하였다. 호박꽃과실파리 암, 수컷에 대한 이들 물질의 유인력을 알아보기 위해 야외 트랩실험도 수행하였다. 실험 결과는 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염의 냄새감각 기능과 연관지어 해석하였다.

## 1. 재료 및 방법

### 가. 실험곤충

한국의 안동 인근에서 채집한 유충을 실내에서 사육하여 확보한 호박꽃과실파리 성충을 본 연구에 사용하였다. 채집한 호박꽃과실파리 유충은 호박의 꽃대를 잘라 먹이로 공급하였고, 성충은 인공사료(dried pumpkin powder + sucrose + powdered milk)를 먹이로 공급하였으며, 망사를 씌운 50 × 50 × 50 cm 크기의 아크릴 케이지에물을 함께 공급하면서 사육하였다. 이렇게 하여 확보한 호박꽃과실파리 성충은 곤충 사육실에서 25°C, 70% RH 및 16L:8D의 조건으로 유

지하였다.

#### 나. 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경 관찰을 위해, 안테나와 작은턱수염을 해부용 칼을 사용하여 scape 부위에서 절단하여 호박꽃과실파리의 머리에서 분리하거나, 목 부위를 절단하여 머리에 안테나와 작은턱수염이 부착된 상태로 분리하였으며, 분리된 조직들은 70% 에탄올에 24시간 동안 담가 고정하였다. 고정된 안테나와 작은턱수염은 밀폐된 용기에 건조제와 함께 넣어 건조하였으며, 건조된 조직들은 알루미늄 SEM 시료판에 고정시킨 금속 양면테이프 위에 부착시켰다. 이렇게 준비한 샘플들은 sputter coater(Q150RS, Quorum, UK)에서 금으로 코팅하였고, 주사전자현미경(FEI Quanta 250 FEG, FEI, USA)으로 5 ~ 10 kV에서 관찰하였다. 안테나와 작은턱수염에 존재하는 냄새감각기들은 이들의 형태에 따라 trichodea, basiconica 및 coeloconica 등의 몇 가지 그룹으로 분류하였다. 그리고, 각 그룹에 속하는 냄새감각기들의 큐티클 표면을 고배율로 관찰하였다. 큐티클 표면에 직경 20-50 nm 정도의 소공들이 다수 존재할 경우 이 감각기의 주 기능은 냄새감각인 것으로 추정하였다 (Steinbrecht, 1997). 큐티클 표면에 길이 방향으로 여러 개의 홈(groove)이 존재하는 sensilla coeloconica들의 경우에도 주 기능이 냄새감각인 것으로 판단하였다.

#### 2. 호박꽃과실파리 안테나와 작은턱수염의 냄새감각기

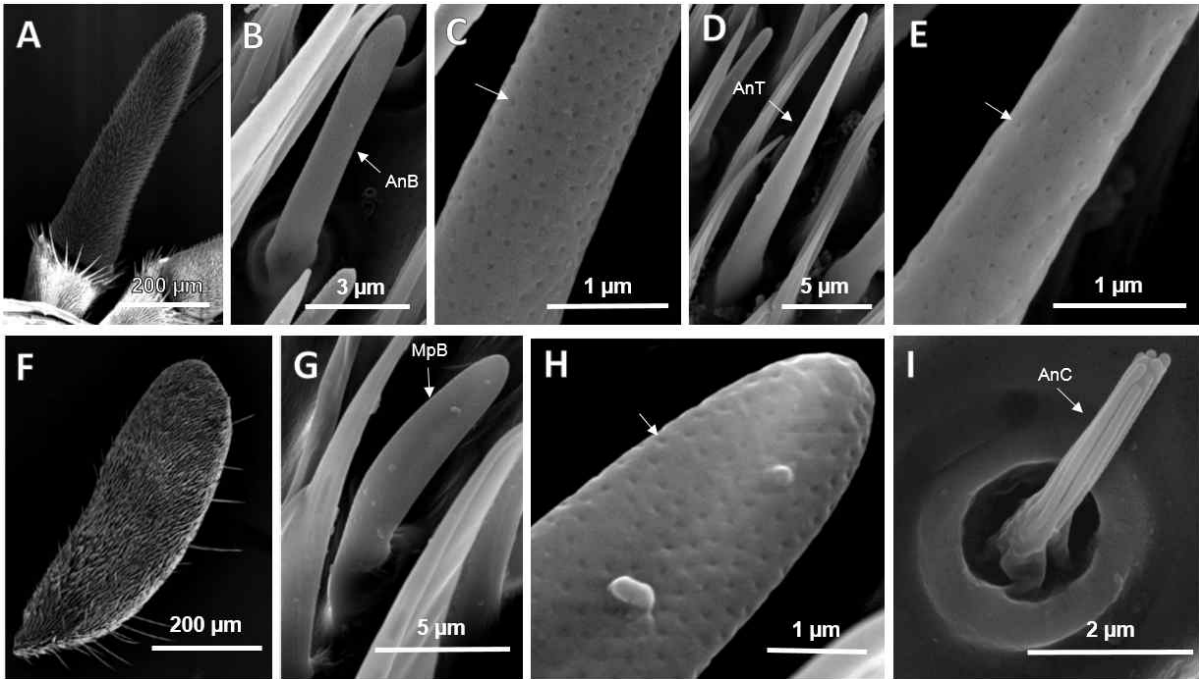
호박꽃과실파리의 안테나 funiculus는 밀집한 털들로 덮여 있었다 (Figure 1-14). 호박꽃과실파리 안테나에 있는 감각기들은 이들의 형태를 바탕으로 세 가지 타입으로 분류할 수 있었다 (Figure 1-14); 이들 세 가지 타입은 sensilla basiconica (Figure 1-14), sensilla trichodea (Figure 1-14) 및 sensilla coeloconica (Figure 1-14) 였다. 이들 세 가지 타입의 감각기 중에서 sensilla trichodea와 sensilla basiconica는 큐티클 표면에 직경 약 20-50 nm 크기의 많은 소공(nanoscale pore)들이 존재하였다 (Figure 1-14). Coeloconic sensilla에서는 중앙의 peg에 길이 방향으로 폭 약 30-50 nm의 여러 개의 홈(groove)이 존재하였다 (Figure 1-14). 호박꽃과실파리의 안테나에 있는 냄새감각기들의 형태와 종류는 암, 수 사이에 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다.

호박꽃과실파리의 작은턱수염은 많은 털들로 덮여 있었다 (Figure 1-14). 안테나와는 달리, 호박꽃과실파리 암, 수컷의 작은턱수염에는 한 가지의 basiconic sensilla만 분포하고 있었다 (Figure 1-14). 작은턱수염에 이는 basiconic sensilla는 큐티클 표면에 많은 소공(nanoscale pore)들이 존재하였다 (Figure 1-14). 안테나와 작은턱수염의 basiconic sensilla에 있는 소공의 크기는 trichoid sensilla에 있는 소공의 크기에 비해 컸다 (Figure 1-14)

우리의 전자현미경 관찰 결과는 호박꽃과실파리의 냄새감각기들의 형태와 분포가 안테나와 작은턱수염 사이에 분명히 다르다는 것을 보여준다. 세 가지 형태적 타입(trichoid, basiconic and coeloconic sensilla)의 냄새감각기가 존재하는 안테나와 한 가지 타입(basiconic sensilla)의 냄새감각기가 존재하는 작은턱수염 사이의 냄새감각기들의 형태와 분포의 뚜렷한 차이는 호박꽃과실파리에서 이들의 냄새감각 기능이 다르다는 것을 암시한다. 이러한 안테나와 작은턱수염 사이의 냄새감각기의 형태적 차이는 올리브과실파리 (*B. oleae*) (Liscia et al., 2013) 같은 다른 *Bactrocera* 속 과실파리와 biting midges (Isberg et al. 2013) 및 *Fannia hirticeps* (Wang et al., 2012) 등의 다른 파리류에서도 보고된 바 있다.

우리의 이번 전기생리학적 그리고 행동학적 연구 결과는 작은턱수염이 호박꽃과실파리에서 분명한 냄새감각 기능을 가지며, 작은턱수염이 호박꽃과실파리 수컷이 cue lure나 raspberry ketone 같은 parasperomone에 유인되는 과정을 중재하는 중요한 역할을 한다는 것을 보여준다. 호박꽃과실파리 작은턱수염의 cue lure 및 raspberry ketone에 대한 큰 EPG 반응과 이들에 대한 안테나의 아주 작은 EAG 반응은, cue lure와 raspberry ketone이 안테나가 아니라 작은턱수염에 의해 감지된다는 것을 의미한다. 호박꽃과실파리 수컷이 cue lure와 raspberry ketone에 유인된다는 사실은 이미 보고된 바 있는데 (Baki et al., 2017; Kim et al., 2017), 우리의 이번 연구는 호박꽃과실파리가 cue lure와 raspberry ketone에 유인되는 과정에 작은턱수염에 존재하는 cue lure와 raspberry ketone에 민감하게 반응하는 냄새감각 신경세포들과 밀접하게 관련이 있다는 것을 나타낸다. 이것은 호박꽃과실파리 수컷의 cue lure와 raspberry ketone에 대한 유인이 작은턱수염에 있는 냄새감각세포에 의해 이들 물질이 감지됨으로써 이뤄진다는 결정적인 증거이다. 우리 결과는 이들 두 가지 물질에 대한 호박꽃과실파리 안테나와 작은턱수염의 전기생리학적 반응이 암컷과 수컷 사이에 비슷하다는 것을 나타내고 있다. 하지만, 호박꽃과실파리 암컷의 작은턱수염이 cue lure와 raspberry ketone에 큰 반응을 나타내는 것이 이들 암컷의 행동이나 생태와 어떤 관련이 있는지는 불분명하다.

유인활성을 나타내는 냄새물질이 작은턱수염에 의해 전적으로 감지된다는 것은 최근 다른 한 종의 *Bactrocera* 속 과실파리에서 보고된 바 있다. 이 보고에 따르면, 퀴즐랜드과실파리(*B. tryoni*)에서는 이 종에 유인력을 나타내는 cue lure가 안테나가 아니라 작은턱수염에 의해서 감지된다 (Verschutt et al., 2018). 우리 결과는 또한 호박꽃과실파리의 작은턱수염에 있는 냄새감각세포가 cue lure 및 이와 구조적으로 유사한 화합물에 어느 정도 특이성을 갖고 선택적으로 반응한다는 것도 보여준다. 퀴즐랜드과실파리의 수컷은 cue lure를 섭취하고, 이를 대사 과정을 거쳐 raspberry ketone으로 전환하여 rectal gland에 저장하며, endogenous pheromone과 함께 외부로 방출한다 (Kumaran et al., 2014; Verschutt et al., 2018). 퀴즐랜드과실파리와 호박꽃과실파리가 cue lure에 대해 유사한 행동 및 전기생리 반응을 나타내는 것으로 볼 때 cue lure가 호박꽃과실파리의 체내에서 퀴즐랜드과실파리의 경우와 유사한 과정을 거칠 가능성도 있다. 호박꽃과실파리에 대한 우리의 연구 결과와 퀴즐랜드과실파리에 대한 Verschutt 등 (2018)의 연구 결과를 볼 때, EAG 반응 양상과 EPG 반응 양상이 이들 종에서 수컷 특이적인 유인제의 행동 활성에 대한 좋은 지표가 된다는 것을 보여준다. 하지만, tephritid에 속하는 다른 과실파리들의 상응하는 parasperomone에 대한 수컷 특이적인 유인도 역시 작은턱수염에 의해 매개되는지는 아직 불분명하다. 일부 tephritid 과실파리의 성적으로 성숙한 수컷들은 trimedlure, methyl eugenol 또는 cue lure 등 식물 유래의 parasperomone에 유인된다 (Sivinski & Calkins, 1986; Renou & Guerrero, 2000). 따라서, oriental fruit fly (*B. dorsalis*)나 medfly (*Ceratitis capitata*) 같은 다른 과실파리들이 각 종의 수컷 특이적인 유인제에 어떤 EAG와 EPG 반응을 보이는지 조사해 본다면 흥미로울 것이다. 이처럼, 안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각세포의 기능적 차이가 *D. melanogaster* (Hallem & Carlson, 2004), *A. gambiae* (de Bruyne et al., 1999; Lu et al., 2007), *C. quinquefasciatus* (Syed & Leal, 2007) 및 *N. bullata* (Wasserman & Itagaki, 2003) 같은 다른 파리류 곤충에서 보고된 바 있으며, 냄새 유인에 이어서 작은턱수염의 독립적인 기능도 *D. melanogaster* 에서 보인 바 있다 (Dweck et al., 2016). 호박꽃과실파리 암컷의 작은턱수염은 cue lure와 raspberry ketone이 행동 유인 활성이 없는데도 불구하고 이들 물질에 강한 EPG 반응을 보여주었다. 호박꽃과실파리 암컷에서 이들 물질이 어떤 행동적 또는 생리적 역할을 하는지는 아직 불분명하다.



**Figure 1-14.** 호박꽃과실파리 수컷의 안테나(A)와 작은턱수염(F)의 주사전자현미경 사진은 안테나 funiculus와 작은턱수염에 밀집한 털들이 존재하는 것을 보여준다 (A, F). 세 가지 타입의 냄새감각기들, basiconic sensilla (AnB) (B, C), trichoid sensilla (AnT) (D, E) and coeloconic sensilla (AnC) (I),이 안테나에 존재하며, 한 가지 타입의 basiconic sensilla(MpB) (G, H)가 작은턱수염에 존재한다. Basiconic sensilla(C, H)와 trichoid sensilla(E)에는 다수의 소공(nanoscale pore: 화살표)들이 존재한다.

## 제15장 알려진 과실파리 parafferomone 성분들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력 및 이들의 탐지에 대한 안테나와 작은턱수염의 역할

우리는 전자현미경 관찰을 통하여 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염에 잘 발달된 냄새감각기들이 존재하며, 안테나와 작은턱수염에 존재하는 냄새감각기들의 종류와 형태가 서로 달라서 호박과실파리와 호박꽃과실파리에서는 안테나와 작은턱수염의 냄새감각 기능이 서로 다를 것이라는 예측을 하였다. 이에 따라, 야외 트랩실험을 통해 *Bactrocera* 속 과실파리들에서 알려진 네 가지 parafferomone 성분들의 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 검정하고, 전기생리 기술을 사용하여 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각기들의 반응을 조사하였다.

### 제1절 Parafferomone 성분들의 호박(꽃)과실파리에 대한 유인력 검정

#### 1. 재료 및 방법

*Bactrocera* 속 과실파리 여러 종에서 알려진 parafferomone 성분이며 이들의 수컷 유인제로 사용되는 methyl eugenol, cue lure, raspberry ketone 및 zingerone(Figure 2-1)의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 행동 유인 활성을 2016년과 2017년에 야외 트랩 실험을 통해 조사하였다. 첫 번째 야외 트랩 실험은 2016년 6월부터 9월까지 안동 인근의 호박밭(좌표 36.694244, 128.731520)에서 수행하였다. 12 개의 빨간색 델타 트랩(Greenagrotech, Gyungsan, Korea) (3 replicates  $\times$  4 treatments)에 100 mg의 cue lure 또는 raspberry ketone을 함유하거나 아무것도 함유하지 않은 솜방망이(20  $\times$  30 mm)를 안에 함유한 폴리에틸렌 봉지 방출제(30  $\times$  40 mm, 100  $\mu$ m thick)가 부착된 끈끈이판을 장착하고 약 1.5 m 높이로 2016년 6월에 호박밭에 설치하였다. 이들 트랩에 로획된 과실파리의 수를 실험이 종료된 9월까지 일주일 간격으로 조사하였다. 두 번째 세트의 야외 트랩 실험은 해남의 감 과수원(좌표 34.444663, 126.702836)에서 2017년 7월부터 10월까지 수행하였다. 15 개의 빨간색 델타 트랩(Greenagrotech, Gyungsan, Korea) (3 replicates  $\times$  5 treatments)에 100 mg의 cue lure, raspberry ketone 또는 zingerone을 함유하거나 아무것도 함유하지 않은 솜방망이(20  $\times$  30 mm)를 안에 함유한 폴리에틸렌 봉지 방출제(30  $\times$  40 mm, 100  $\mu$ m thick)가 부착된 끈끈이판을 장착하고 약 1.5 m 높이로 2017년 7월에 감 과수원에 설치하였다. 트랩 사이의 간격은 최소 10 m를 유지하도록 하였다. 유인제는 매 달 새 것으로 교체하였다. 식물 냄새 성분인 3-octanone은 야외 트랩 실험에는 사용하지 않았는데 이는 3-octanone이 과실파리의 유인제는 아니며 단지 우리의 전기생리 실험에서 지표 물질로 사용된 물질이기 때문이었다. 트랩에 포획된 과실파리의 개체수는 실험이 종료된 2017년 10월까지 매 2주 간격으로 조사하였다. 포획된 호박꽃과실파리의 수와 성별을 기록하였다.

다섯 가지 시험물질에 대한 EAG 와 EPG 반응의 상대적 반응성을 비교하고 야외 트랩실험에서 각각의 물질에 유인, 포획된 호박꽃과실파리의 수를 비교, 분석하기 위해서 ANOVA 검정을 하고 나서 Fisher LSD test로 통계분석을 하였다 ( $p = 0.05$ ). 각 물질에 대한 EAG와 EPG 반응을 서로 비교하기 위해서는 Student t-test를 사용하였다 ( $p = 0.001 \sim 0.005$ ). 통계분석에는 컴퓨터 프로그램 DSSAASTAT ver.1.0192 (University of Perugia, Italy)을 사용하였다.

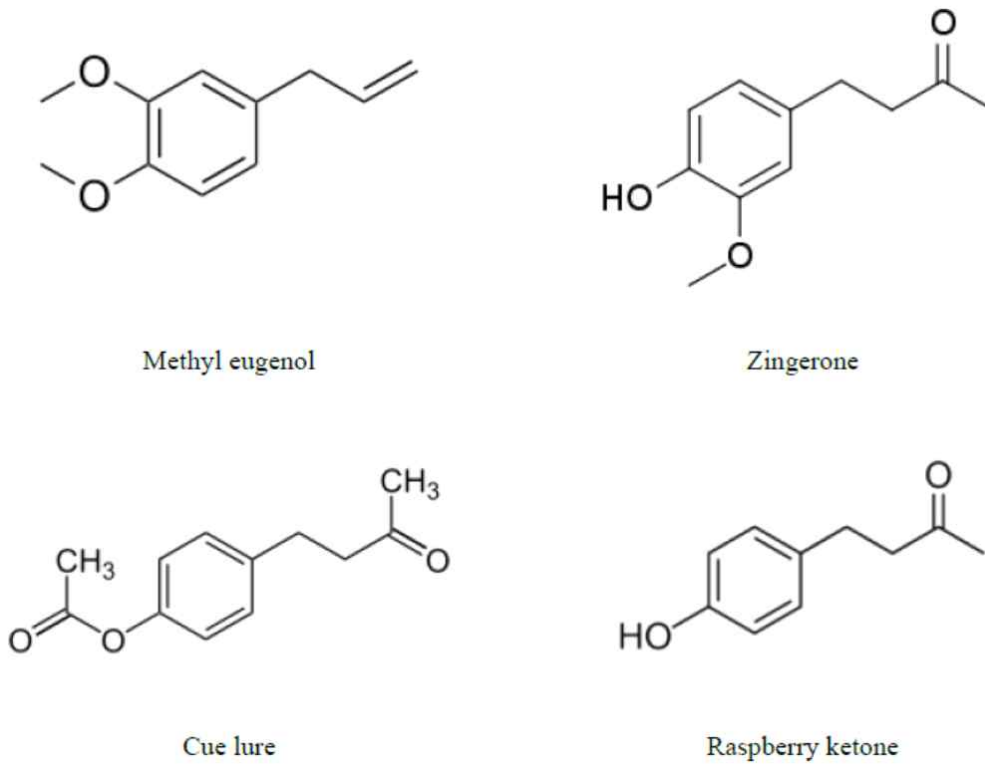


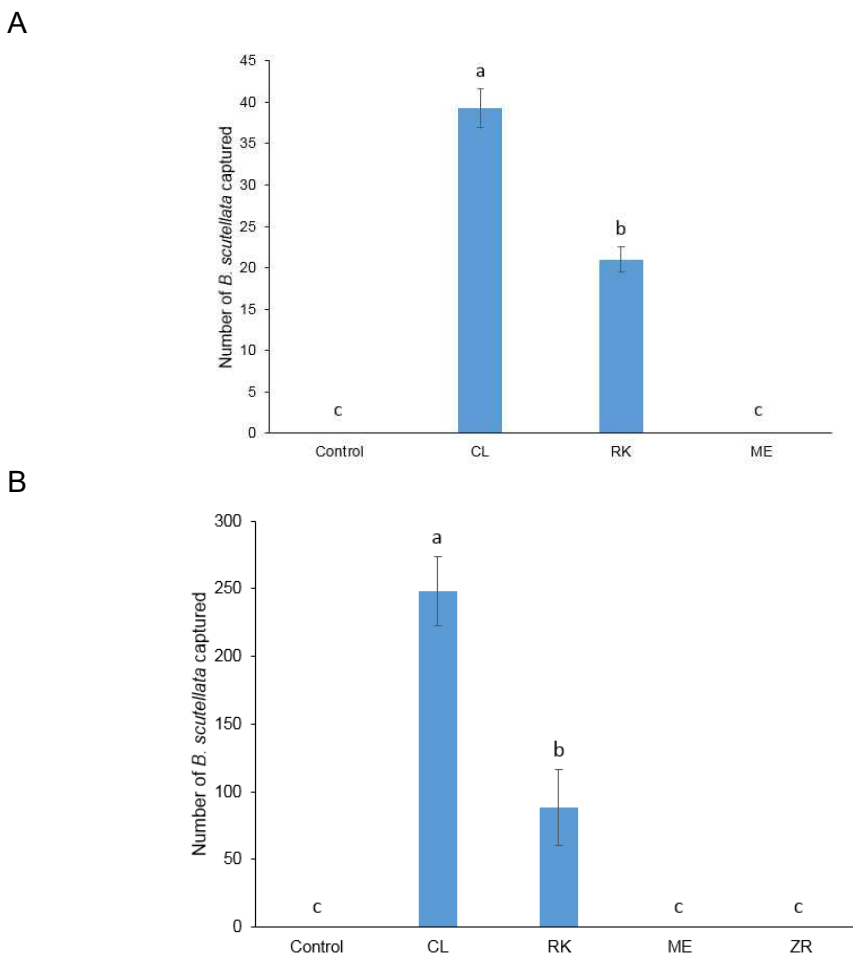
Figure 2-1. 본 연구에 사용된 *Bactrocera* 속 과실파리들의 네 가지 parpheromone 성분. 이들 물질은 일부 *Bactrocera* 속 과실파리의 수컷에 유인력을 나타낸다. 이들의 화학구조는 cue lure, raspberry ketone 및 zingerone이 공통적인 backbone 구조를 갖고 있음을 보여준다.

## 2. 결과

우리는 2016 년에 안동의 호박밭에서 끈끈이판을 내부에 부착한 빨간색 델타트랩과 polyethylene bag 형태의 dispenser 를 사용하여 수행한 예비 트랩실험에서, cue lure 500 mg을 함유한 polyethylene bag dispenser 에 호박꽃과실파리가 다수 유인, 포획되어 빨간색 델타트랩이 호박꽃과실파리의 유인력을 검정하기 위한 트랩으로 사용될 수 있음을 보여주었는데, 이는 우리가 호주와 뉴칼레도니아에서 퀸즐랜드과실파리(*B. tryoni*)의 유인제 개발을 위한 야외 트랩 실험에 델타트랩을 효율적으로 사용하고 있는 것과 맥락을 같이 하며, 이후에 수행된 호박 과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 야외 트랩실험에서는 빨간색 델타트랩을 주로 사용하였다. 또한, 초기에 500 mg의 cue lure를 polyethylene bag에 넣어 dispenser로 사용했는데, 이후 cue lure의 양을 줄여 비교 예비실험을 한 결과 100 mg의 cue lure를 함유한 polyethylene bag dispenser가 우리나라 여름의 야외 조건에서 호박꽃과실파리에 대한 강한 유인력을 3개월 이상 지속적으로 유지하는 것을 확인하였고, 이에 따라 100 mg의 cue lure를 이후 야외 트랩실험에서 cue lure의 표준량으로 사용하기로 결정하였다.

2016년과 2017년에 수행한 야외 트랩 실험에서, cue lure에 다수의 호박꽃과실파리가 포획되었고 포획된 개체들은 모두 수컷으로 판명되었다 (Figure 2-2). 호박과실파리는 cue lure에 전혀

포획되지 않았으며, methyl eugenol이나 zingerone에는 호박과실파리나 호박꽃과실파리 모두 포획되지 않았고, raspberry ketone에는 cue lure에 대해서보다 적은 수의 호박꽃과실파리가 유인되었으며 호박과실파리는 전혀 유인되지 않았다 (Figure 2-2). 이 실험결과는 cue lure가 호박꽃과실파리의 수컷유인제로 사용될 수 있음을 확인해 주었고, 빨간색 델타트랩이 각종 합성 물질의 과실파리들에 대한 유인력 검정에 사용될 수 있음을 보여주었다. 또한, 실험에 사용된 100 mg을 합성물질을 함유한 polyethylene bag dispenser 가 8 월에서 11 월에 걸쳐 지속적으로 유인력을 나타냄으로써 우리나라의 야외환경에서 polyethylene bag 형태의 dispenser가 야외에서 적어도 석 달 이상 지속적으로 사용될 수 있음을 확인시켜 주었다. 또한, 호박꽃과실파리는 기주식물과 어느 정도 떨어진 곳에 설치된 유인제에도 잘 유인, 포획되는 것을 나타내어, 호박꽃과실파리의 일일 비행반경이 작지 않거나 이들이 기주식물의 인접 지역 외의 지역에도 널리 서식할 수 있다는 것을 암시하였다.



**Figure 2-2.** 안동의 야외 호박밭과 해남의 감과수원에서 각각 2016년(7월-9월)과 2017년(7월-10월)에 수행된 트랩실험에서, 100 mg의 4 가지의 개별 parafformone 성분(CL: cue lure; RK: raspberry ketone; ME: methyl eugenol; ZR: zingerone)을 함유한 polyethylene bag dispenser를 장착한 delta trap에 유인, 포획된 호박꽃과실파리 수컷의 수 (mean  $\pm$  SE, n = 3 for A 및 5 for B). 막대 위의 다른 글자는 통계적으로 유의하게 차이를 의미함 (Fisher's LSD test,  $p = 0.05$ ).



## 제2절 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염 냄새감각기의 parafferomone 성분들에 대한 전기생리 반응

호박과실파리(*B. depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)의 안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각세포들의 cue lure (CL), raspberry ketone (RK), zingerone (ZR) 및 methyl eugenol (ME) 에 대한 전기생리학적 반응을 각각 electroantennogram (EAG) 및 electropalpogram (EPG) 방법을 사용하여 측정하였다. 호박과실파리의 안테나는 methyl eugenol 에 비교적 약한 EAG 반응을 나타내었고 cue lure 및 raspberry ketone 에는 거의 EAG 반응을 나타내지 않았으며, 호박과실파리 작은턱수염은 세 가지 물질 모두에 아주 약한 EPG 반응을 보여주었다. 호박꽃과실파리의 안테나는 세 가지 물질에 모두 아주 약한 EAG 반응만을 나타낸 반면에, 호박꽃과실파리의 작은턱수염은 cue lure 에 아주 강한 EPG 반응을 나타내었고, raspberry ketone 에도 강한 EPG 반응을 보였으며, methyl eugenol 에는 아주 약한 EPG 반응을 나타내었다. 본 연구 결과는 섭식과 관련이 있을 것으로 사료되는 이들 물질이 작은턱수염에 분포하는 냄새감각세포들에 의해 감지된다는 것을 보여주며, 호박꽃과실파리는 작은턱수염에 이 종에 행동유인활성을 나타내는 cue lure 에 종특이적인 냄새감각세포를 갖고 있다는 것을 암시하였으며, 아직 효율적인 유인제가 개발되어 있지 않은 호박과실파리의 유인제 개발에 중요한 단서를 제공하여, 호박과실파리의 작은턱수염에 강한 EPG 반응을 나타내는 물질을 찾아낸다면 이 물질이 호박과실파리의 효율적인 유인제가 될 가능성이 클 것이라는 것을 암시하였다.

### 1. 재료 및 방법

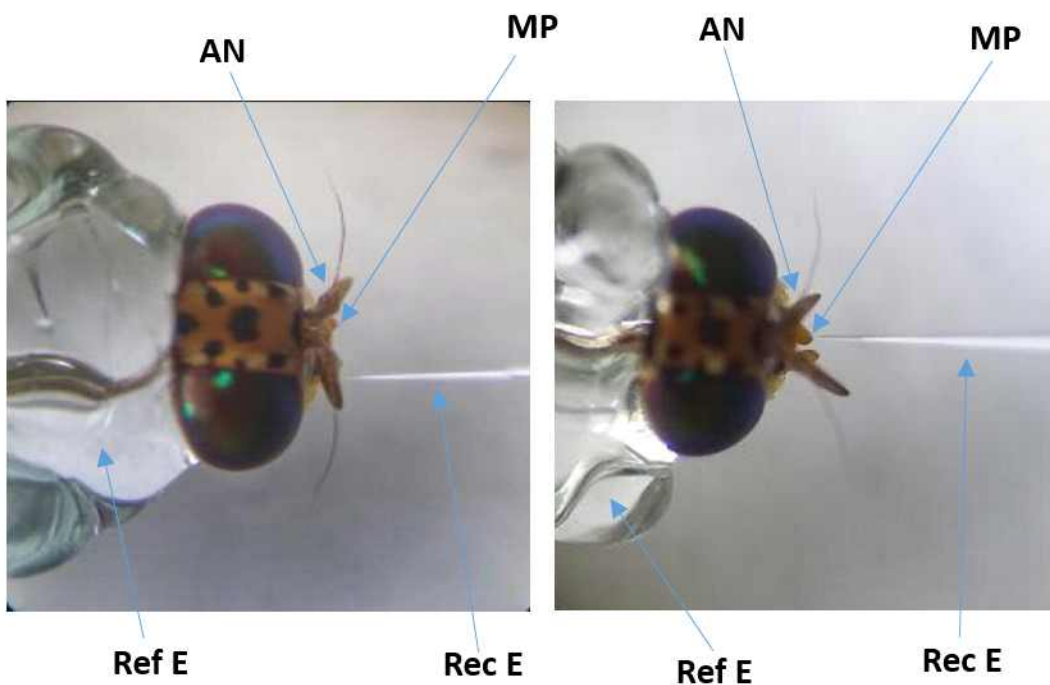
#### 가. 실험곤충

한국의 안동 인근에서 채집한 유충을 실내에서 사육하여 확보한 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 성충을 본 연구에 사용하였다. 성충은 인공사료(dried pumpkin powder + sucrose + powdered milk)를 먹이로 공급하였으며, 망사를 씌운 60 × 60 × 60 cm 크기의 아크릴 케이지에 물을 함께 공급하면서 사육하였다. 이렇게 하여 확보한 호박과실파리와 호박꽃과실파리 성충은 곤충 사육실에서 25°C, 70% RH 및 16L:8D 의 조건으로 유지하였다.

#### 나. Electroantennogram (EAG) 및 electropalpogram (EPG) 반응 측정

EAG와 EPG 반응은 분리된 호박과실파리 암, 수컷의 머리에 부착된 안테나와 작은턱수염으로부터 측정되었다. 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리 성충을 이산화탄소 가스로 마취하고 나서 안테나와 작은턱수염을 포함한 머리를 이들의 몸통으로부터 분리한 다음, 머리의 절단된 목 부위를 electroconductive gel(Spectra 360)을 함유한 가는 유리 전극(reference electrode: inner diameter 0.86 mm)에 연결시켰다 (Figure 2-3). 그리고 나서, 기준 전극에 연결된 머리 부분을 활성탄으로 여과하고 가슴을 한 main airstream에 위치시키고, 0.1 M KCl 용액을 채운 끝이 뾰족한 (tip diameter < 10 μm) 유리전극을 안테나(EAG recording의 경우 또는 작은턱수염(EPG의 경우)의 큐티클 표면 약간 아래에 연결시켜 기록전극(recording electrode)으로 삼았다 (Figure 2-3). 기준전극과 ground input 사이, 그리고 기록전극과 high input impedance headstage amplifier(Syntech, Germany)의 input 사이의 전기적 연결은 Ag-AgCl을 통해 이뤄졌다. Preamplifier를 거친 DC 신호는 더 증폭되고, 120 samples/s 의 sampling rate으로 digitize되어 컴퓨터로 처리, 저장, 분석되었다 (IDAC-4, Syntech, Germany). 일단 전극과 안테나 또는 전극과 작은턱수염 사이에 전기적으로 안정적인 연결이 이뤄지면, 안테나나 작은턱수염

을 다음의 다섯 가지 물질로 차례대로 자극을 가하면서 반응을 측정하였다: 3-octanone, methyl eugenol [1,2-dimethoxy-4-(prop-2-en-1-yl)benzene], zingerone [4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone], raspberry ketone [4-(4-hydroxyphenyl)-2-butanone] 및 cue lure [4-(4-acetoxyphenyl)-2-butanone], Sigma-Aldrich로부터 구입 (purity >98%: St Louis, MO, USA). 각 물질은 10 µg/µl의 농도로 hexane에 녹여 준비하였고, hexane을 solvent control로 사용하였다. Filter paper (Whatman No. 1; Whatman, Cambridge, UK) 조각에 각 용액 10 µl를 가하고 10초 동안 용매를 증발시킨 다음 유리 Pasteur pipette(146 mm; Fisher Scientific Co., Pittsburg, Pennsylvania)에 넣었다. 이렇게 준비한 Pasteur pipette 끝을 안테나 또는 작은턱수염에 지속적으로 600 ml/min의 공기를 보내고 있는 main airflow tube의 벽에 있는 직경 2 mm 정도의 구멍을 통해 넣었다. Airflow controller(CS-55; Syntech, Germany)를 사용하여 Pasteur pipette의 굽은 쪽 끝을 통해 활성탄으로 여과된 공기를 0.1 초 동안 불어넣어 안테나 또는 작은턱수염을 자극하였다. 물질들을 테스트하는 순서는 무작위로 하였다. 연속된 두 자극 간의 간격은 최소 30 초로 하였다. 자극 후 변화한 DC amplitude의 정점에서의 amplitude를 해당 물질에 대한 EAG 또는 EPG 반응으로 간주했다. EAG 또는 EPG 반응들 사이에서의 유의성을 알아보기 위해 Fisher's LSD 등의 통계분석을 하였다.

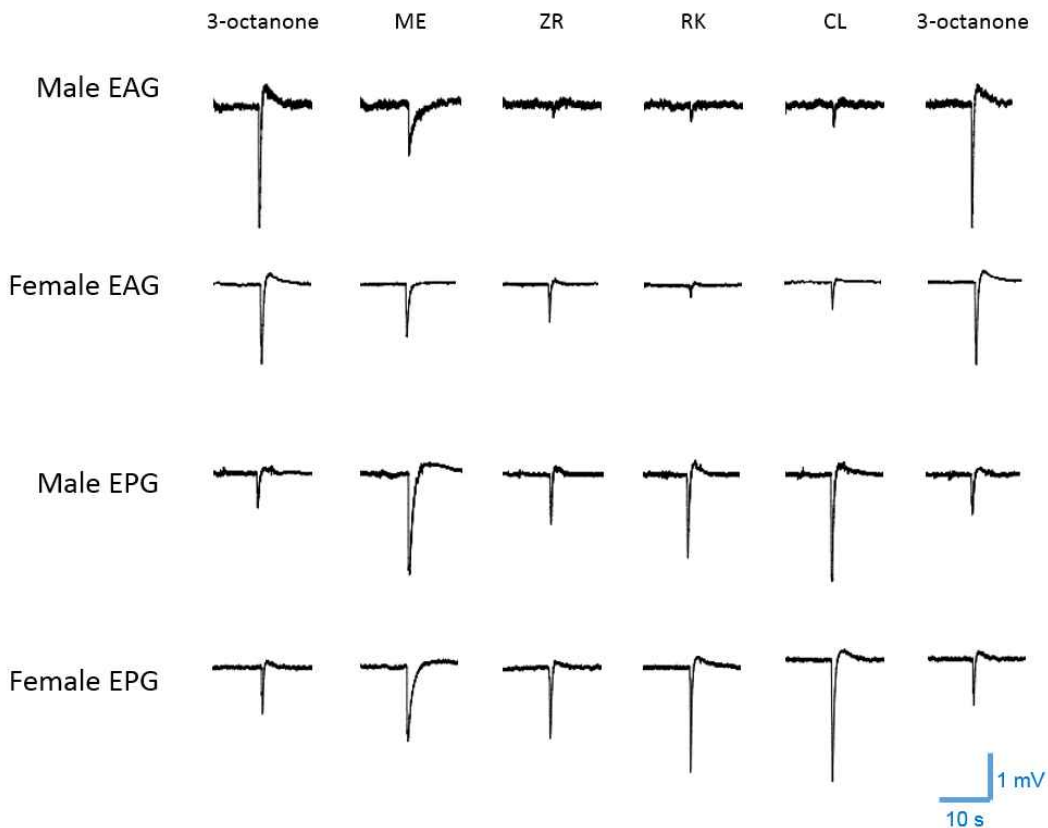


**Figure 2-3.** 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염으로부터 EAG (electroantennogram) 반응과 EPG (electropalpogram) 반응을 측정하기 위한 기준전극 (reference electrode: Ref E) 및 기록전극(recording electrode: Rec E)의 연결. 분리된 머리의 절단면을 electroconductive gel로 채운 유리 모세관 기준전극에 연결하고, 식염수를 채운 끝이 뾰족한 유리 기록전극을 안테나(AN) 또는 작은턱수염(MP)의 끝에 연결해서 EAG (left) 또는 EPG (right) 신호를 측정하였다.

## 2. Parapheromone에 대한 호박꽃과실파리의 EAG 반응 및 EPG 반응

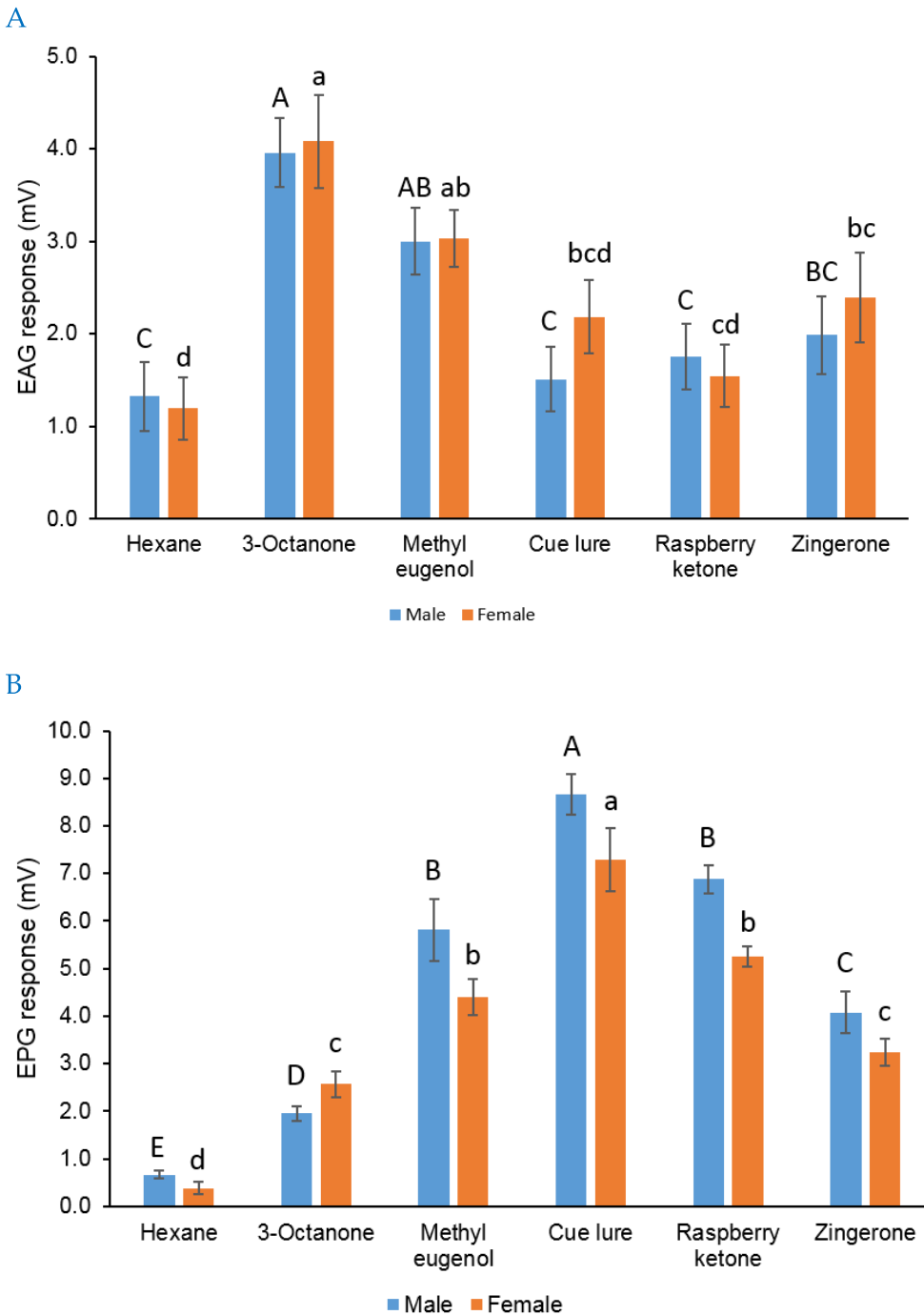
호박꽃과실파리는 다섯 가지 시험물질에 비슷한 전형적인 EAG 및 EPG 반응 파형을 나타내어, 자극 직후 빠른 negative deflection의 DC potential 변화와 수 초 동안의 recovery time을 보

여주었다 (Figure 2-4). 다섯 가지 시험물질들 중에서 methyl eugenol에 대한 EAG 및 EPG 반응이 다른 물질들에 대한 반응에 비해 상대적으로 다소 긴 recovery time을 나타내었다 (Figure 2-4). 호박꽃과실파리의 안테나는 암, 수컷 모두 3-octanone 에는 큰 EAG 반응을 보인 반면에 cue lure 및 raspberry ketone에 대해서는 EAG 반응을 거의 보이지 않았으며, methyl eugenol에 대해서는 3-octanone에 대한 EAG 반응에 비해 상대적으로 작은 EAG 반응을 나타내었다 (Figure 2-4, 2-5). 이는 호박꽃과실파리의 안테나에는 cue lure나 raspberry ketone에 대한 전문 냄새감각세포가 존재하지 않는다는 것을 의미하며, 또한 호박꽃과실파리의 안테나에는 methyl eugenol에 반응하는 냄새감각세포들이 어느 정도 존재한다는 것을 암시한다. 이와는 대조적으로, 호박꽃과실파리의 작은턱수염은 1-octanol 에는 반응이 없거나 아주 작은 EPG 반응만을 보인 반면에 cue lure와 raspberry ketone에는 상대적으로 강한 EPG 반응을 보여 (Figure 2-5, 2-6), 이들의 작은턱수염에는 cue lure와 raspberry ketone에 민감하게 반응하는 냄새감각세포들이 존재한다는 것을 보여주었다. 호박꽃과실파리의 작은턱수염은 methyl eugenol에 대해서는 아주 작은 반응만을 보여주어 작은턱수염에는 methyl eugenol에 대한 전문 냄새감각세포들이 발달되어 있지 않다는 것을 암시하였다. 특히, 호박꽃과실파리는 cue lure 및 raspberry ketone에 대해 아주 강한 EPG 반응을 보여주었는데, 이는 호박꽃과실파리의 작은턱수염에는 종 특이적으로 발달한 cue lure와 raspberry ketone에 대한 전문 냄새감각세포들이 다수 존재한다는 것을 암시하였다. 본 연구 결과는 섭식과 관련이 있을 것으로 사료되는 cue lure와 raspberry ketone이 호박꽃과실파리의 작은턱수염에 분포하는 냄새감각세포들에 의해 감지된다는 것을 보여준다.



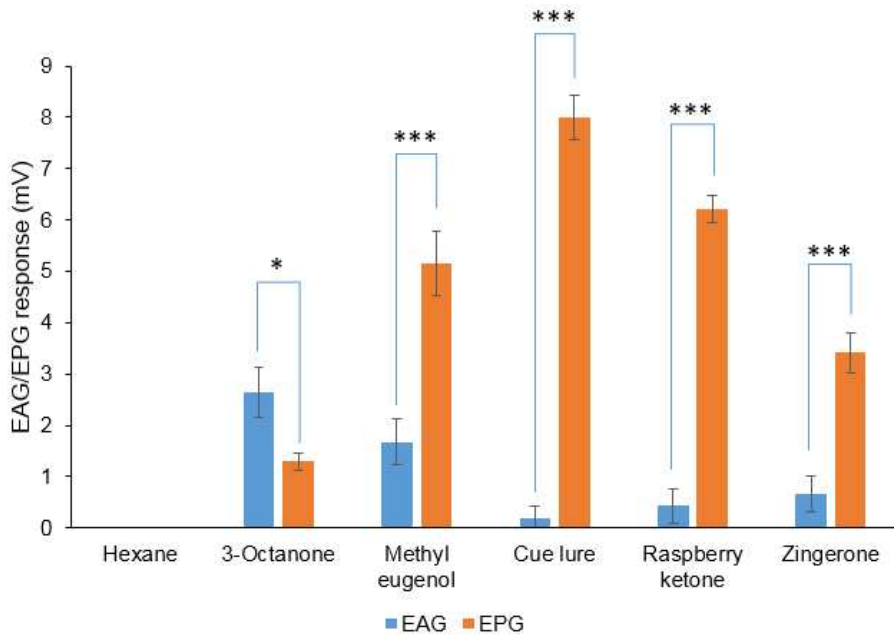
**Figure 2-4.** 호박꽃과실파리 암컷과 수컷의 electroantennogram (EAG) (top two rows) and electropalpogram (EPG) (bottom two rows) 반응 파형. 이들은 호박꽃과실파리 암컷이나 수컷의 안테나 (for EAG) 혹은 작은턱수염 (for EPG)을 3-octanone, methyl eugenol (ME), zingerone (ZR), raspberry ketone (RK) 혹은 cue lure (CL)를 100  $\mu$ g

함유한 Pasteur pipette dispenser를 통해 1 ml의 공기를 0.1초 동안 통과시켜 자극한 것에 대한 반응 파형을 보여주고 있다. 3-Octanone에 대한 EAG 또는 EPG 반응을 한 시리즈의 실험 시작과 종료 때 측정하여 시험 물질들에 대한 상대적 반응 크기를 비교 (normalization)하기 위한 척도로 삼았다. Methyl eugenol에 대한 반응의 회복 시간 (recovery time)이 다른 물질에 대한 반응으로부터의 회복 시간에 비해 다소 긴 것을 알 수 있다.



**Figure 2-5.** 자극 물질 100  $\mu$ g을 함유한 Pasteur pipette으로부터의 1 ml single puff을 통한 자극에 대한 호박꽃과실파리 수컷(left bars: blue)과 암컷(right bars: orange)의 EAG (electroantennogram) (A) 및 EPG (electropalpogram) (B) 반응 (mean  $\pm$  SE, n = 11 ~ 13). 막대 위의 다른 글자들은 같은 성 내에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냄 (Fisher's LSD,  $p = 0.05$ ).

A. Male *B. scutellata*



A. Female *B. scutellata*

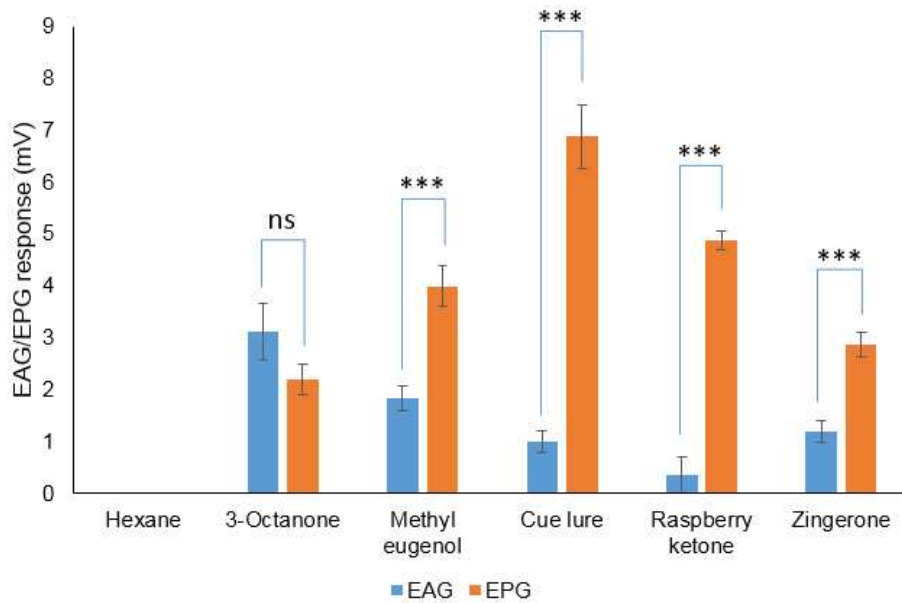


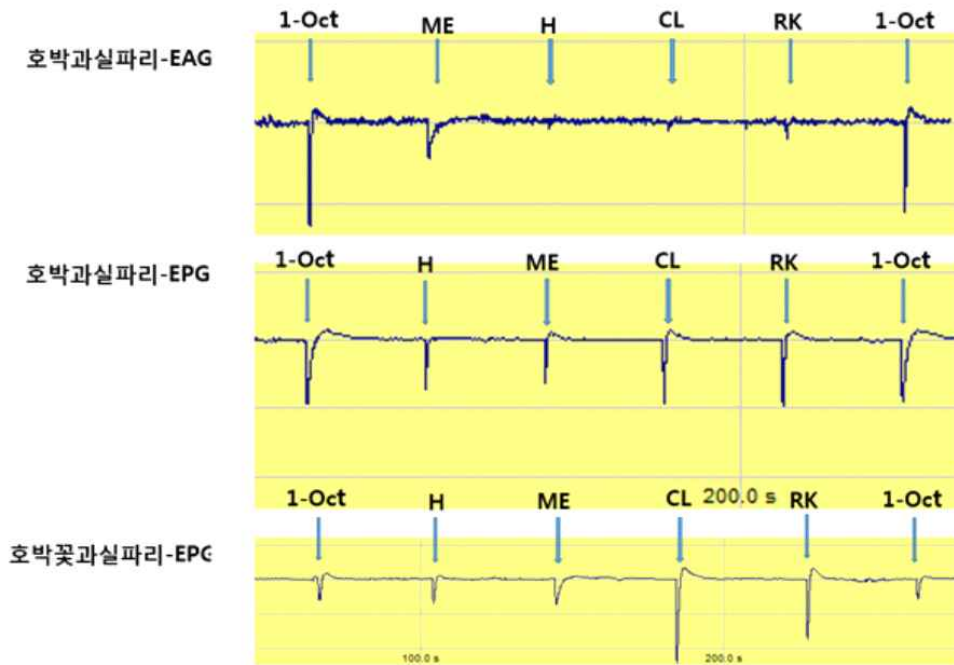
Figure 2-6. 자극 물질 100  $\mu$ g을 함유한 Pasteur pipette으로부터의 1 ml의 single puff을 통한 자극에 대한 호박꽃과실파리 수컷(A)과 암컷(B)의 EAG (electroantennogram) 반응 (left bars: blue) 및 EPG (electropalpogram) 반응 (right bars: orange) 비교 (mean  $\pm$  SE, n = 11 ~ 13). 각 쌍의 막대 위의 별표(asterisk)는 EAG 반응과 EPG 반응이 통계적으로 유의한 차이를 나타내는 것을 의미함 (Student's t-test) (ns: non-significant; \*:  $p = 0.05$ ; \*\*\*:  $p = 0.001$ ).

### 3. Parapheromone에 대한 호박과실파리의 EAG 반응 및 EPG 반응

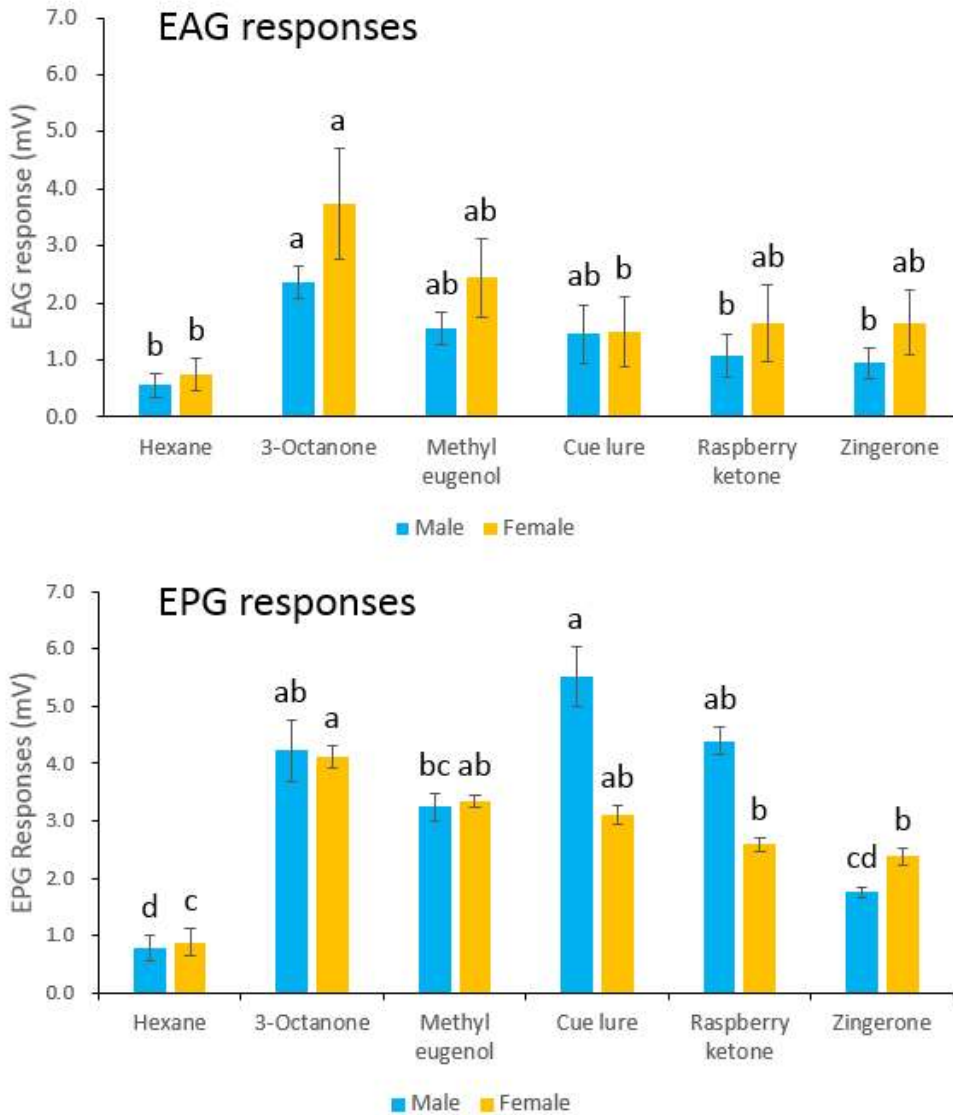
호박과실파리도 호박꽃과실파리에서처럼 다섯 가지 시험물질에 대해 비슷한 전형적인 EAG 및 EPG 반응 파형을 나타내어, 자극 직후 빠른 negative deflection의 DC potential 변화와 수 초 동안의 recovery time을 보여주었다 (Figure 2-7). 호박과실파리는 다섯 가지 시험물질들 중에서 methyl eugenol에 대한 EAG 및 EPG 반응이 다른 물질들에 대한 반응에 비해 상대적으로 다소 긴 recovery time을 나타내었다 (Figure 2-7). 호박과실파리의 안테나는 암, 수컷 모두 3-octanone 에는 큰 EAG 반응을 보인 반면에 cue lure 및 raspberry ketone에 대해서는 EAG 반응을 거의 보이지 않았으며, methyl eugenol에 대해서는 3-octanone에 대한 EAG 반응에 비해 상대적으로 작은 EAG 반응을 나타내었다 (Figure 2-7, 2-8). 이는 호박과실파리의 안테나에는 cue lure나 raspberry ketone에 대한 전문 냄새감각세포가 존재하지 않는다는 것을 의미하며, 또한 호박과실파리의 안테나에는 methyl eugenol에 반응하는 냄새감각세포들이 어느 정도 존재한다는 것을 암시한다. 이와는 대조적으로, 호박과실파리의 작은턱수염은 3-octanone 에는 반응이 없거나 아주 작은 EPG 반응만을 보인 반면에 cue lure와 raspberry ketone에는 상대적으로 강한 EPG 반응을 보여 (Figure 2-8), 이들의 작은턱수염에는 cue lure와 raspberry ketone에 민감하게 반응하는 냄새감각세포들이 존재한다는 것을 보여주었다. 호박과실파리의 작은턱수염은 methyl eugenol에 대해서는 아주 작은 반응만을 보여주어 작은턱수염에는 methyl eugenol에 대한 전문 냄새감각세포들이 발달되어 있지 않다는 것을 암시하였다. 하지만, 호박과실파리는 호박꽃과실파리에 비해 cue lure 및 raspberry ketone에 대해 작은 EPG 반응을 보여주었는데, 이는 호박과실파리의 작은턱수염에 이들 두 가지 물질에 대한 전문 감각기가 존재하지만 호박꽃과실파리에 비해서는 이들 감각기가 덜 발달되어 있다는 것을 암시하였다. 다섯 가지 물질에 대한 호박과실파리 EAG 반응은 전체적으로 암컷의 반응이 수컷의 반응보다 다소 큰 경향은 있어지만 암컷과 수컷 간에 비슷한 양상을 보였다. 그러나, 작은턱수염의 EPG 반응 패턴은 호박과실파리의 암컷과 수컷 간에 차이가 있었다. 수컷에서는 cue lure가 다섯 가지 시험 물질 중에서 가장 큰 EPG 반응을 나타내었다. 반면에, 암컷에서는 3-octanone이 가장 큰 EPG 반응을 나타내었다 (Figure 2-8). 본 연구 결과는 섭식과 관련이 있을 것으로 사료되는 cue lure와 raspberry ketone이 작은턱수염에 분포하는 냄새감각세포들에 의해 감지된다는 것을 보여주며, 아직 효율적인 유인제가 개발되어 있지 않은 호박과실파리의 유인제 개발에 아주 중요한 단서를 제공하고 있는데, 호박과실파리의 작은턱수염에 강한 EPG 반응을 나타내는 물질을 찾아낸다면 이 물질이 호박과실파리의 효율적인 유인제가 될 가능성이 클 것이라는 것을 암시한다.

우리 연구 결과는 호박과실파리 수컷 작은턱수염의 cue lure와 raspberry ketone에 대한 EPG 반응이 이들 물질에 대한 안테나의 EAG 반응에 비해 상대적으로 큰 반응을 나타낸 것을 보여주었으며, 이는 호박과실파리의 수컷에서 안테나와 작은턱수염의 냄새감각 기능이 서로 다르다는 것을 암시한다. 마찬가지로, 최근의 전기생리학적 그리고 행동학적 연구 결과에 따르면 퀸즐랜드 과실파리 수컷의 cue lure에 대한 유인이 작은턱수염에 의해 중재된다 (Verschut et al., 2018). 그러므로, cue lure 및 raspberry ketone에 대한 수컷 특이적인 EPG 반응은 호박과실파리에도 수컷 특이적인 유인성분이 존재할 가능성을 암시한다. 안테나와 작은턱수염이 서로 다른 냄새감각 기능을 한다는 것은 *D. melanogaster* (de Bruyne et al., 1999; Dweck et al., 2016), *N. bullata* (Wasserman & Itagaki, 2003), *A. gambiae* (Lu et al., 2007), *C. quinquefasciatus* (Syed & Leal, 2007), 및 *B. tryoni* (Verschut et al., 2018) 등의 여러 파리목 곤충들에 대한 전기생리학적 그리고 행동학적 연구를 통해서 보고되어 왔는데, 이는 작은턱수염이 보다 광범위한 파리목 곤충들에서 고유의 냄새감각 기능을 할 것이라는 것을 암시한다.

우리의 연구는 호박과실파리의 cue lure 및 raspberry ketone에 대한 수컷 특이적인 유인이 작은턱수염에 의해 중재된다는 것을 보여준다. 과실파리 수컷의 종특이적인 paraperomone 성분에 대한 유인은 여러 종의 tephritid 과실파리들에서 밝혀져 이들에 공통적인 현상으로 여겨지지만, 아직 많은 과실파리 종들의 이와 비슷한 paraperomone들은 알려져 있지 않다. 만약 이들 과실파리에서도 유사한 수컷 특이적인 유인물질이 작은턱수염에 의해 감지되어 유인활성을 나타낸다면, EPG나 GC-EPD 등의 적용이 이들 종에서 paraperomone 성분들을 동정하는 데에 유용한 수단이 될 수 있을 것이다.



**Figure 2-7.** 호박과실파리의 cue lure (CL), raspberry ketone (RK), methyl eugenol (ME) 및 3-octanone (1-Oct)에 대한 electroantennogram (EAG) 및 electropalpogram (EPG) 반응. 각 물질을 100  $\mu$ g 함유한 Pasteur pipette dispenser를 통해 1 ml의 공기를 0.1초 동안 통과시켜 자극한 것에 대한 반응 파형을 보여주고 있다. 이들 물질에 대한 호박꽃과실파리의 EPG 반응도 참고로 보여줌.



**Figure 2-8.** 자극 물질 100  $\mu\text{g}$ 을 함유한 Pasteur pipette으로부터의 1 ml의 single puff을 통한 자극에 대한 호박과실파리 수컷(left bars: blue)과 암컷(right bars: orange)의 EAG (electroantennogram) (위 graph) 및 EPG (electropalpogram) (아래 graph) 반응 (mean  $\pm$  SE, n = 5 ~ 15). 막대 위의 다른 글자들은 같은 성 내에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냄 (Fisher's LSD,  $p = 0.05$ ).



### 제3절 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염의 terpinyl acetate에 대한 반응

안동대학교의 김용균 교수 팀에서 terpinyl acetate가 단백질먹이의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 유인활성을 증가시킨다는 것을 발견함에 따라, 이 물질에 대한 호박꽃과실파리의 EAG 및 EPG 반응을 측정하였다. 안테나 및 작은턱수염의 준비는 EAD 및 EPD 측정에서와 같은 방법으로 하였으며, terpinyl acetate를 hexane에 용해하여 5가지 농도(10 ng/ $\mu$ l, 100 ng/ $\mu$ l, 1  $\mu$ g/ $\mu$ l, 10  $\mu$ g/ $\mu$ l, 및 100  $\mu$ g/ $\mu$ l)로 준비하여 실험에 사용하였다. 각 용액 10  $\mu$ l 를 filter paper 조각에 가하고 흐르는 공기 중에 30초 동안 위치시켜 hexane을 증발시킨 후에, 이 filter paper 를 Pasteur pipette에 넣어 stimulus cartridge로 사용하였다. EAG 또는 EPG 반응을 측정하기 위하여 각 stimulus cartridge의 끝부분을 main airflow tube의 작은 구멍에 넣고 1 ml 의 공기를 이 Pasteur pipette에 주입하여 기화된 자극물질로 안테나 또는 작은턱수염을 자극하고 EAG 또는 EPG 반응을 Syntech의 IDAC-2 recording system 및 Autospiker software를 사용하여 측정, 기록하였다. 호박꽃과실파리 암, 수컷의 각 농도에 대한 반응을 측정하였으며, hexane에 대한 반응을 control(dose 0)로 사용하였다.

호박꽃과실파리는 암, 수컷 모두 terpinyl acetate에 대해 농도의존적인 EAG 및 EPG 반응을 나타냈으며, 안테나의 terpinyl acetate에 대한 반응이 작은턱수염의 terpinyl acetate에 대한 반응보다 컸다 (Figure 2-9). 특히 암컷의 경우 안테나의 terpinyl acetate에 대한 EAG 반응은 같은 양의 이 물질에 대한 작은턱수염의 EPG반응에 비해 4 배 정도 강한 것을 알 수 있었다.

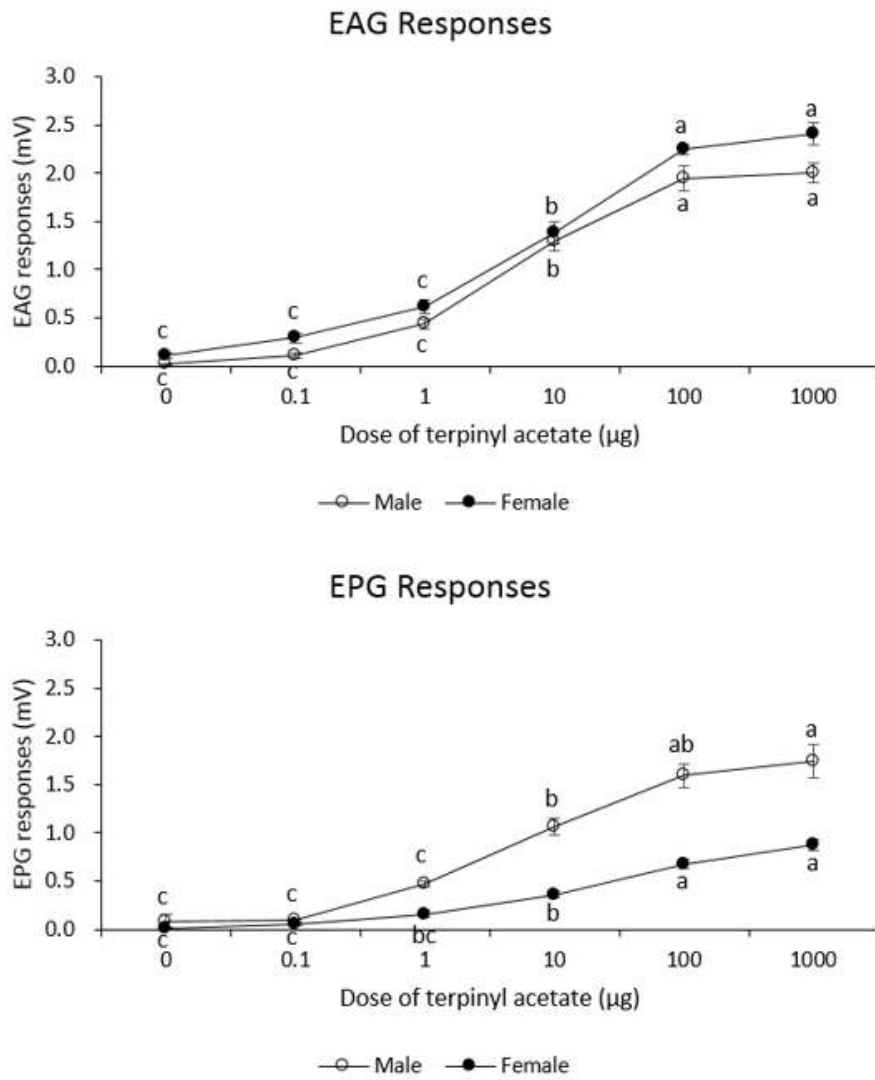
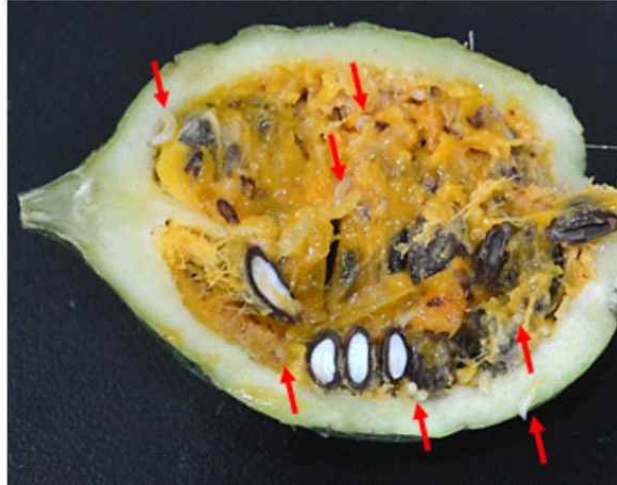


Figure 2-9. 호박꽃과실파리 암, 수컷의 terpinyl acetate에 대한 EAG 및 EPG dose-responses.

## 제16장 호박과실파리 안테나 및 작은턱수염에 대한 냄새활성물질 탐색

### 제1절 안테나 및 작은턱수염에 대한 냄새활성물질 탐색 개요 및 방법

호박과실파리(*Bactrocera depressa*)는 한국, 일본 등 아시아에 분포하여 다양한 종류의 박과식물에 피해를 주는 해충으로 (Figure 3-1), 우리가 수행한 호박과실파리의 냄새감각기의 종류와 기능에 대한 앞서의 연구에 따르면 이들의 안테나 및 작은턱수염에 존재하는 냄새감각기(olfactory sensilla)들이 기주 탐색 등에 중요한 역할을 하는 것으로 보인다. 호박과실파리의 안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각세포들에 냄새활성을 보이는 물질들을 GC-EAD (coupled gas chromatograph-electroantennogram detection) 및 GC-EPD (coupled gas chromatograph-electropalpogram detection) 방법을 사용하여 동정하였다. 우리는 2017년에 수행한 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 안테나와 작은턱수염의 methyl eugenol (ME), cue lure (CL), raspberry ketone (RK) 및 zingerone에 대한 EAG (electroantennogram) 및 EPG (electropalpogram) 반응을 측정하고 결과 호박꽃과실파리에 유인활성을 나타내는 cue lure 및 raspberry ketone이 호박꽃과실파리의 안테나가 아닌 작은턱수염(maxillary palp)의 냄새감각세포에 의해 감지된다는 사실을 확인하였으며 (Park et al., 2018), 최근 호주와 말레이시아의 연구진에 의해 발표된 논문들에 따르면 퀸즐랜드과실파리에 유인력을 나타내는 cue lure가 작은턱수염의 냄새감각세포에 의해 감지되며 (Verschut et al., 2018) 오리엔탈과실파리의 유인제인 methyl eugenol도 이 종의 작은턱수염에 의해 감지된다 (Chieng et al., 2018). 이러한 사실은 호박과실파리 및 호박꽃과실파리 등 *Bactrocera*에 속하는 과실파리들이 작은턱수염에 강한 냄새활성을 보이는 물질들에도 종특이적으로 유인될 수 있다는 것을 암시하며, 이에 따라 우리는 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 안테나 및 작은턱수염의 GC-EAD 및 GC-EPD 반응을 측정하여, 이들 종의 기주식물 및 비기주식물에서 발산되는 것으로 알려진 수 백 가지 냄새물질의 혼합물 및 이들의 기주식물로부터 포집한 headspace extracts 들에 함유된 물질 중에서 이들 두 종의 냄새감각세포에 활성을 나타내는 냄새물질들을 동정하였다. 그 결과, 안테나와 작은턱수염에 냄새활성을 나타내는 다수의 물질들을 동정했으며, 이들 중 여러 물질들은 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 종 특이적인 냄새활성을 나타냈고, 다른 여러 물질들은 각 종에서 성 특이적인 냄새활성을 나타냈다. 아울러 우리는 각 종에 강한 냄새활성을 보인 물질들을 여러가지 조합으로 만들어 이들의 행동활성을 실내 bioassay와 야외에서의 트랩실험을 통해 측정하였다 (5장 참조). 본 연구 결과는 호박과실파리의 친환경적 방제에 사용될 수 있는 유인제 등의 개발에 유용한 정보가 될 것으로 사료된다.



**Figure 3-1.** 호박과실파리 (*Bactrocera depressa*) (left, <http://blog.naver.com/seoya1010/220850165599>) 및 호박과실파리의 유충(빨간 화살표)으로 감염된 야생기주식물인 하늘타리 (*Trichosanthes kirilowii*).

## 1. 재료 및 방법

### 가. 실험 곤충

제주에 서식하는 하늘타리 열매를 채집하여 확보한 호박과실파리 유충과 안동의 호박밭 및 해남의 감과수원에 있는 하늘타리로부터 확보한 호박과실파리 유충을 실내에서 사육하여 얻은 호박과실파리 성충을 실험에 사용하였다. 호박과실파리 유충과 성충은 온도 25°C, 상대습도 70%, 광주기 14L : 10D 조건의 사육실에 두고 사육하며 실험에 사용하였다. 성충에는 설탕과 분유 및 호박 분말을 반죽한 덩어리와 물을 함유한 agar를 먹이로 공급해 주었다.

### 나. Test compounds

호박과실파리와 호박꽃과실파리의 기주 및 비기주식물이 방출하는 것으로 알려진 526 개의 식물냄새 화합물을 6 가지의 mixture로 제조하여 실험에 사용하였다. 이 중 한국에서 246 개의 화합물을 3 가지 mixture(RDA Mix A, RDA Mix B 및 RDA Mix C)로 제조하여 사용하였는데, 이 중 RDA Mix A는 87 compounds, RDA Mix B는 89 compounds, 그리고 RDA Mix C는 72 compounds를 함유하였다 (Table 3-1). 그리고, 뉴질랜드에서 280 개의 화합물을 3 가지 mixture(PFR Mix A, PFR Mix B 및 PFR Mix C)로 준비하여 사용하였는데, 이 중 PFR Mix A는 97 compounds, PFR Mix B는 91 compounds, 그리고 PFR Mix C는 92 compounds를 함유하였다 (Table 3-2). 각 mixture는 hexane에 10 µg/µl 용액으로 준비하여 사용하였다.

**Table 3-1.** 호박꽃과실파리 및 호박과실파리의 GC-EAD와 GC-EPD 실험에 사용된 세 가지 RDA Mixture에 포함된 식물냄새물질 성분들 (RDA Mix A는 87 compounds, RDA Mix B는 89 compounds, 그리고 RDA Mix C는 72 compounds를 함유함).

No	RDA Mix A	RDA Mix B	RDA Mix C
1	2-Acetylfuran	p-Anisaldehyde	Acetaldehyde
2	Allyl isothiocyanate	Benzoic acid	Amyl acetate

3	2-Aminoacetophenone	Benzyl acetate	Amyl butyrate
4	Anisole	Benzyl benzoate	Amyl hexanoate
5	Benzaldehyde	Benzyl butyrate	Benzenecarbothioic acid
6	Benzyl alcohol	Butanoic acid	Betaine
7	2-Butanol	1-Butanol	2,3-Butanediol
8	Butyl acetate	2-Butanone	$\gamma$ -Caprolactone
9	Butyl octanoate	Butyl butyrate	Decylbutyrate
10	Butyric acid	Butyl hexanoate	( <i>E</i> )-2-Dodecenal
11	Caryophyllene	Butyl propionate	1-Eicosanol
12	( <i>E</i> )-Cinnamaldehyde	Butyl-2-methyl butyrate	2-Ethyl-1-butanol
13	Citral	(+)-Camphene	Ethyl 4 <i>E</i> -decenoate
14	(+/-)-Citronellal	Camphor	2-Ethylhexanal
15	<i>P</i> -Cymene	2-Carene	2-Ethyl-1-hexanol
16	Decanal	3-Carene	Ethyl isonicotinate
17	1-Decanol	$\beta$ -Caryophyllene	Ethyl nicotinate
18	Diethyl malonate	Caryophyllene oxide	Ethyl nonanoate
19	Diethyl succinate	1,8-Cineole (eucalyptol)	Ethyl succinate
20	Dimethyl disulfide	Cinnamyl alcohol	Ethyl-2-methyl butanoate
21	2,6-Dimethyl-3,5-heptanedione	m-Cresol	Heptanoic acid
22	Dodecanal	$\gamma$ -Decalactone	Heptylbutyrate
23	Dodecyl acetate	1-Decanol	$\gamma$ -Hexalactone
24	Ethanol	2-Decanone	Hexanoic acid

25	Ethyl benzoate	( <i>E</i> )-2-Decenal	3-Hexanol
26	Ethyl butyrate	Decylacetate	1-Hexen-3-ol
27	Ethyl decanoate	Diethyl oxalate	( <i>Z</i> )-2-Hexen-1-ol
28	Ethyl hexanoate	Dimethyl malonate	( <i>E</i> )-2-Hexenyl acetate
29	Ethyl propionate	Dimethyl trisulfide	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl formate
30	Ethyl-(2 <i>E</i> ,4 <i>Z</i> )-decadienoate	1-Dodecanol	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl propionate
31	Eugenol	Ethyl acetate	4-Hydroxybenzaldehyde
32	Farnesol (racemic)	Ethyl heptanoate	Isobutyl phenylacetate
33	Geraniol	Ethyl laurate	Isopropyl myristate
34	Geranyl acetone	Ethyl octanoate	Isovaleraldehyde
35	$\gamma$ -Heptalactone	Ethyl phenylacetate	2'-Methoxyacetophenone
36	2-Heptanol	Ethyl undecanoate	Methyl acetate
37	1-Hexadecanol	( <i>E</i> )- $\beta$ -Farnesene	Methyl <i>o</i> -anisate
38	1-Hexanol	Furfural	Methyl <i>p</i> -anisate
39	( <i>E</i> )-2-Hexenal	Furfuryl alcohol	Methyl-1-butanol
40	( <i>Z</i> )-3-Hexen-1-ol	Geranyl acetate	3-Methyl-2-butanol
41	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl acetate	1-Heptadecanol	2-Methylbutyl acetate
42	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl benzoate	Heptaldehyde	Methyl ( <i>E</i> )-3-hexenoate
43	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl butyrate	n-Heptane (C7)	Methyl isonicotinate
44	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl hexanoate	1-Heptanol	Methyl-2-methoxybenzoate
45	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl 2-methylbutanoate	2-Heptanone	ethyl-4-methoxybenzoate
46	$\alpha$ -Humulene	n-Hexadecane (C16)	Methyl nicotinate

47	Indole	Hexanal	Methyl palmitate
48	Isobutyricacid	( <i>E</i> )-2-Hexen-1-ol	2-Methyl-2-pentanal
49	Isoamylalcohol	( <i>Z</i> )-3-Hexenyl hexanoate	2-Methyl-1-pentanol
50	Isoamylhexanoate	Hexyl acetate	3-Methyl-1-pentanol
51	Isopropyl alcohol	Hexyl butyrate	3-Methyl-2-pentanol
52	Isovalericacid	Isoamylacetate	4-Methyl-1-pentanol
53	( <i>R</i> )-(+)-Limonene	Isoamyloctanoate	Methyl phenylacetate
54	(±)-Linalool	Isobutanol(methyl-1-propanol)	1-Nonadecene
55	Methyl anthranilate	Isobutyl acetate	1,9-Nonanediol
56	Methyl benzoate	Isophorone	Nonanal
57	3-Methyl-1-butanol	( <i>Z</i> )-Jasmine	δ-Octalactone
58	Methyl decanoate	( <i>S</i> )-(-)-Limonene	1,8-Octanediol
59	6-Methyl-5-hepten-2-ol (Sulkatol)	(-)-Linalool	Octyl butyrate
60	Methyl hexanoate	4'-Methoxyacetophenone	1-Pentadecanol
61	2-Methyl-1-propanol	2-Methyl-1-butanol	3-Pentanone
62	Methyl propionate	Methyl butyrate	Pentylacetate
63	Nerolidol(racemic)	6-Methyl-5-hepten-2-one (Sulcatone)	Pentylhexanoate
64	Nonanoicacid	Methyl jasmonate	Phenethylacetate
65	2-Nonanol	Methyl nonanoate	Phenethylalcohol
66	2-Nonanone	Methyl octanoate	2-Phenylethyl propionate

67	2-Octanone	Methyl salicylate	2-Phenyl-2-propanol
68	3-Octanone	Myrcene	1-Phenyl-1-propyne
69	2-Pentanol	Napthalene	2-Propyl-1-pentanol
70	( <i>E</i> )-2-Pentenal	Nerol	Terpinolene
71	( <i>Z</i> )-2-Penten-1-ol	( <i>E</i> )-Nerolidol	Triobenzoicacid
72	Phenol	Nerylacetate	10-Uundecen-1-ol
73	Phenylacetaldehyde	1-Nonadecanol	
74	Phenylaceticacid	1-Nonanol	
75	3-Phenyl-1-propanol	$\gamma$ -Octalactone	
76	$\alpha$ -Pinene	Octanoicacid	
77	$\beta$ -Pinene	1-Octanol	
78	Propyl hexanoate	1-Octen-3-ol	
79	$\alpha$ -Terpinene	Pentylbutanoate	
80	$\gamma$ -Terpinene	$\alpha$ -Phellandrene	
81	$\alpha$ -Terpineol	2-Phenylethanol	
82	Terpinylacetate	Propan-2-ol (isopropyl alcohol)	
83	1-Tetradecanol	Propionaldehyde	
84	2-Tridecanone	Propyl acetate	
85	Triethylamine	Propyl butyrate	
86	Undecan-1-ol	Propyl propionate	
87	Vanillin	(+/-)-Terpinene-4-ol	
88		Undecanal	
89		( <i>E</i> )-2-Undecenal	



**Table 3-2.** 호박꽃과실파리 및 호박꽃과실파리의 GC-EAD와 GC-EPD 실험에 사용된 세 가지 PFR Mixture에 포함된 식물냄새물질 성분들 (PFR Mix A는 97 compounds, PFR Mix B는 91 compounds, 그리고 PFR Mix C는 92 compounds를 함유함).

No	PFR Mix A	PFR Mix B	PFR Mix C
1	(+)-2-Carene	(+)-Limonene	(-)-(E)-Caryophyllene
2	(±)-Geosmin	(+)-α-Pinene	(-)-Linalool
3	(1R)-(+)-α-Pinene	(1S)-(-)-α-Pinene	(±)-2-Octanol
4	(1S)-(-)-Verbenone	(S)-(-)-Limonene	(±)-Terpinene-4-ol
5	(E)-Geranyl acetone	(S)-(+)-3-Octanol	(R)-(-)-2-Heptanol
6	(E)-β-Farnesene	10-Undecen-1-ol	(S)-(-)-2-Methylbutyl amine
7	(R)-(+)-Limonene	1-Heptanol	1-Hexanol
8	(S)-(+)-2-Heptanol	1-Nonanol	1-Methoxy-4-propylbenzene
9	1-Octanol	1-Octen-3-ol	2,4-Hexadienyl butyrate
10	1-Octen-3-yl acetate	1-Penten-3-ol	2,5-Dimethylpyrazone
11	1-Penten-3-one	1-Tridecene	2-Coumaranone
12	1-Phenyl-1-propyne	2,3-Dihydrobenzofuran	2-Decanone
13	2,3-Butanediol	2,3-Pentanedione	2-Ethyl-1-butanol
14	2,6-Dimethyl-3,5-heptanedione	2,6,6-Trimethyl-2-cyclohexene-1,4-dione	2-Methyl-1-butanol
15	2'-Aminoacetophenone	2'-Methylacetophenone	2-Methylbutyl acetate
16	2-Aminopentane	2-Ethylhexyl acrylate	2-Methylbutylamine
17	2-Ethylphenol	2-Heptanol	2-Nonanol

18	2-Heptanone	2-Methyl-1-propanol	2-Nonanone
19	2-Methoxyacetophenone	2-Methyl-2-pentenal	2-Octanone
20	2-Methyltetrahydrofuran	2-Methylfuran	2-Phenylethanol
21	2-Pentanol	2-Phenylmethyl isothiocyanate	3,4-Dimethylbenzaldehyde
22	2-Pentyl butyrate	3'-Methylacetophenone	3,7-Dimethylnonatriene
23	3,5-Dimethoxytoluene	3-Ethylaniline	3-Carene
24	3'-Methoxyacetophenone	3-Phenyl-1-propanol	3-Hexanol
25	3-Ethylamine	4-(3-oxobutyl)phenyl acetate	3-Pentanone
26	3-Methyl-1-butanol	4-Methoxyphenylacetone	4-(3-Oxobutyl)phenyl acetate
27	3-Methyl-1-pentanol	4-Vinylanisole	4-Allyl-1,2-dimethoxybenzene
28	3-Methylbutan-1-ol	6-Amyl- $\alpha$ -pyrone	4-Allylanisol
29	3-Octanone	6-Methyl-5-hepten-2-ol	4-Oxoisophorone
30	4'-Ethylacetophenone	Acetophenone	4-Phenyl-2-butanone
31	4-Methylacetophenone	<i>m</i> -Anisaldehyde	5-Methyl-1-hexanol
32	6-Pentyl-2H-pyran-2-one	Anisole	Benzyl tiglate
33	Benzaldehyde	Benzyl acetate	Butan-2-one

34	Benzyl alcohol	Butyl acetate	Butyl benzoate
35	Benzyl methyl ether	Butyl hexanoate	Butyl butyrate
36	Butyl phenylacetate	Butyl propionate	Butyl-2-methyl butyrate
37	Camphene	<i>cis</i> -Jasmone	Diethyl malonate
38	<i>cis</i> -Chrysanthemyl alcohol	Citral	Diethyl oxalate
39	$\delta$ -Decalactone	Diethylamine	Diethyl phthalate
40	$\delta$ -Octalactone	( <i>E</i> )-(+)-Chrysanthemic acid	( <i>E</i> )-2-Decenal
41	Diethyl succinate	( <i>E</i> )-2-Hexen-1-ol	( <i>E</i> )-2-Hexenal
42	Dimethyl sulphide	( <i>E</i> )-2-Hexenyl acetate	( <i>E</i> )-2-Nonenal
43	Dodecane	( <i>E</i> )-2-Hexenyl butyrate	( <i>E</i> )-2-Octenal
44	Dodecyl acetate	( <i>E</i> )-2-Pentenal	Ethyl benzoate
45	( <i>E</i> )-2-Dodecenal	( <i>E</i> )-2-Undecenal	Ethyl butyrate
46	<i>E2E4</i> -Hexadienal	( <i>E</i> )-3-Hexenyl acetate	Ethyl <i>E4</i> -decenoate
47	( <i>E</i> )-Chrysanthemyl alcohol	( <i>E</i> )-6--Nonen-1-ol	Ethyl hexanoate
48	Ethyl decanoate	Ethyl 4-ethoxybenzoate	Ethyl phenylacetate
49	Ethyl heptanoate	Fyrfyryl alcohol	Ethyl propionate
50	Ethyl isonicotinate	gamma-Hexalactone	Eugenol
51	Ethyl levulinate	Geraniol	( <i>E</i> )-alpha-Farnesene
52	Ethyl nicotinate	Germacrene D	gamma-Octalactone
53	Ethyl octanoate (caprylate)	Hexanal	Geranyl acetate
54	Ethyl sorbate	Hexyl butyrate	Geranyl acetone

55	Ethyl undecanoate	Hexyl octanoate	Geranyl isovalerate
56	$\gamma$ -Decalactone	Isoamyl isobutyrate	Hexyl 3-methylbutanoate
57	$\gamma$ -Heptalactone	Isoamyl isovalerate	Hexyl acetate
58	Geranic acid	Isobutyl phenylacetate	Indene
59	Heptyl acetate	Isophorone	Ipsdienol
60	Hexyl hexanoate	Methyl 2-methoxybenzoate	Isovaleraldehyde
61	Hexylamine	Methyl benzoate	Methyl decanoate
62	Isoamyl alcohol	Methyl butyrate	Methyl elaidate
63	Isoamyl amine	Methyl ( <i>E</i> )-2-hexenoate	Methyl nonanoate
64	Isoamyl butyrate	Methyl geranate	Methyl octanoate
65	Isobutyl acetate	Methyl jasmonate	Methyl propyl disulphide
66	Isobutylamine	n-Amyl hexanoate	Methyl-2-methoxybe nzoate
67	Isocapronitrile	n-Amylamine	Methyl-( <i>E</i> )-3-hexeno ate
68	Isopropyl myristate	n-Butyl hexanoate	mono-Butyl maleate
69	Linalool	n-Butylsulfide	Nerolidol
70	Methional	Nerol	Neryl acetate
71	Methyl ( <i>R</i> )-(+)-lactate	n-Octylamine	n-Heptylamine
72	Methyl ( <i>S</i> )-(-)-Lactate	Nonane	n-Propyl hexanoate
73	Methyl propionate	Nonyl butyrate	Ocimene

74	Methyl salicylate	Octanal	Octan-3-ol
75	m-Tolunitrile	Octyl salicylate	Pentyl acetate
76	n-Octanol	o-Tolunitrile	Phenyl acetate
77	Nonanal	p-Cymene	Phenylacetaldehyde
78	o-Xylene	Phenethyl acetate	Propylamine
79	p-Anisaldehyde	Phenethyl butyrate	Pyridine
80	Phenethylamine	Propyl acetate	Styrene
81	Phytol	sec-Butylamine	Terpineol
82	Propionaldehyde	s-Octan-3-yl acetate	Tridecane
83	Propyl butyrate	Terpinyl acetate	Valencene
84	Propyl propionate	(Z)-2-Penten-1-ol	Vinyl acetate
85	Tiglic aldehyde	(Z)-3-Hexen-1-ol	(Z)-2-Hexen-1-ol
86	Veratrole	$\alpha$ -Humulene	(Z)-3-Hexenyl 3-methylbutanoate
87	(Z)-3-Hexenyl benzoate	$\beta$ -Caryophyllene	(Z)-3-Hexenyl butyrate
88	(Z)-3-Hexenyl hexanoate	$\beta$ -Phellandrene	(Z)-3-Hexenyl formate
89	(Z)-3-Hexenyl isovalerate	6-Methyl-5-hepten-2-one	$\alpha$ -Terpinolene
90	(Z)-3-Hexenyl propionate	Farnesene	$\gamma$ -Decanolactone
91	(Z)-3-Hexenyl tiglate	(E)-3-Hexen-1-ol	$\gamma$ -Octalactone
92	(Z)-3-Hexenyl valerate		10-Undecan-1-ol

93	$\beta$ -Pinene		$\alpha$ -Terpinene
94	$\gamma$ -Nonalactone		
95	$\gamma$ -Terpinene		
96	( $\pm$ )-Linalool		
97	3-Octanol		

#### 다. Volatile collection system

호박과실파리의 주요 기주식물인 애호박, 단호박, 하늘타리, 그리고 뉴질랜드 마오리 족의 전통호박 작물인 kamo kamo로부터 방출된 냄새물질들을 포집하여 GC-EAD 및 GC-EPD 실험에 사용하였다. 각 작물의 꽃, 꽃과 열매, 잎 등을 유리 용기에 넣고, dynamic headspace volatile collection system을 이용하여 Tenax TA 흡착제에 포집한 다음 (Figure 3-2), 이를 hexane으로 추출하고, 질소가스로 농축하여 실험에 사용하였다.



**Figure 3-2.** 호박과실파리의 기주식물로부터 발산되는 냄새물질들을 포집하기 위한 dynamic headspace volatile collection system (좌상), GC-EAD 시스템 (좌하), GC로부터 분획되어 나오는 물질들을 호박과실파리 안테나로 보내기 위한 main airflow tube 및 안테나와 작은턱수염으로부터의 신호를 측정하기 위한 기준전극과 기록전극 (우상), 그리고 호박과실파리의 안테나와 작은턱수염으로부터의 신호를 측정하기 위해 머리를 분리하여 기준전극의 electroconductive gel과 기록전극에 연결한 모습 (우하).

## 라. GC-EAD 및 GC-EPD 반응 측정

호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*) 암, 수컷의 안테나 및 작은턱수염에 존재하는 냄새감각세포들에 냄새활성을 나타내는 물질들을 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 통해 동정하였다. 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리 성충을 이산화탄소 가스로 마취한 다음, 안테나 및 작은턱수염을 포함한 머리 부분을 몸에서 분리하고, reference electrode로 사용된 미세유리관에 electroconductive gel을 주입하고 노출된 electroconductive gel에 절단된 목 부분을 부착하였다 (Figure 3-2). 이렇게 준비한 샘플을 micromanipulator를 이용하여 활성탄 입자를 통해 여과된 공기가 600 ml/min으로 계속 흐르는 main airflow tube 끝 부분으로부터 1 cm 정도 떨어진 곳 중앙에 안테나와 작은턱수염을 위치시키고, 생리적 식염수를 함유한 끝이 뾰족한 microglass electrode를 recording electrode로 사용하여, 이 electrode의 뾰족한 끝부분을 motorized micromanipulator를 사용하여 안테나 또는 작은턱수염에 연결하여 안테나의 EAD 반응 또는 작은턱수염의 EPD 반응을 측정하였다. EAD 및 EPD 반응은 Syntech의 IDAC-2 recording system 및 Autospike software를 사용하여 측정, 기록하였다.

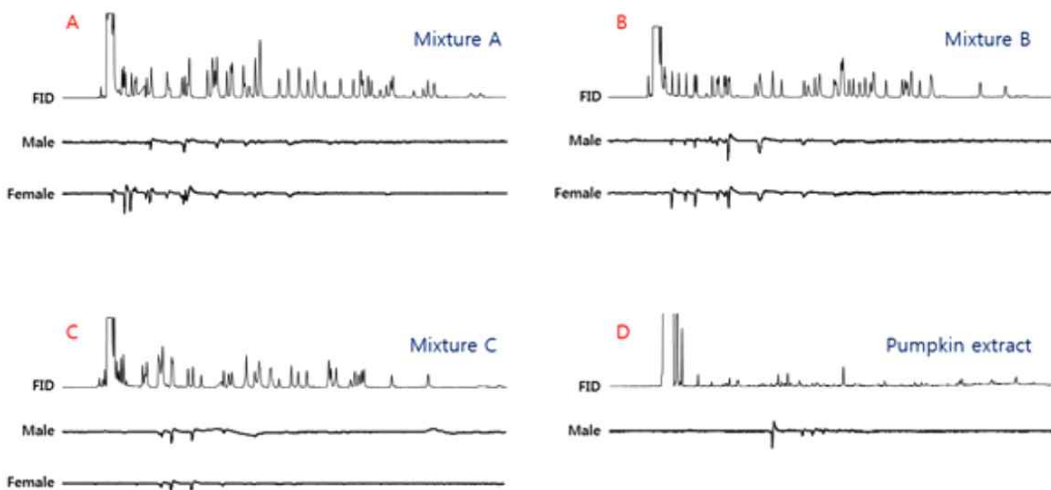
GC(gas chromatograph)는 초기 온도 60°C에서 샘플을 주입하고, 1분에 10°C씩 증가하여 200°C에 도달하면 5분 동안 머무르도록 온도를 프로그램하였고, DB-5 column을 사용하여 샘플을 분리하였으며, split/splitless injector와 FID(flame ionization detector)의 온도는 각각 250°C와 280°C로 하였다. GC effluent는 오븐 내부에 장착한 splitter에 의해 분리되어 주입된 샘플의 약 절반 정도를 GC 외부로 보내어 이들에 대한 EAD 또는 EPD 반응을 측정하도록 하였다. Split 되어 외부로 보내지는 GC effluent는 도중에 액화되지 않도록 250°C로 유지되는 heated transfer line을 통해 continuous airflow tube로 보내지도록 하였다. 두 가지 종류의 샘플을 사용하여 GC-EAD 및 GC-EPD 반응을 측정하여 냄새활성물질들을 동정했는데, 하나는 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 기주 및 비기주식물에서 발산하는 것으로 알려진 냄새물질들의 혼합물로 총 248 가지의 합성 식물냄새물질들을 3 가지의 혼합물 용액(RDA Mix A, RDA Mix B, 및 RDA Mix C)으로 제조하였고 (Table 3-1), 이와는 별도로 총 280 가지의 합성 식물냄새물질들을 3 가지의 혼합물 용액(PFR Mix A, PFR Mix B 및 PFR Mix C)으로 제조하여 (Table 3-2), 이들 중 강한 냄새활성을 나타내는 물질들을 조사했으며, 다른 하나는 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 기주식물인 애호박, 단호박 및 하늘타리에서 발산되는 냄새물질들을 직접 dynamic headspace collection system으로 채취하여 hexane으로 추출한 extract들에 함유된 냄새활성물질들을 조사하였다. 합성냄새물질은 각각 10~100 ng을 GC에 주입하였으며, headspace extract의 경우 1 ml의 extract를 100 배 정도 농축하여 1 µl를 GC에 주입하였다.

## 마. Gas chromatography

GC (Agilent 7890A) 분석은 DB-5 column을 사용하여, 초기 온도 60°C (1 min), 240°C까지는 분당 10°C씩 증가시켜, 240°C에서 10분 동안 유지하였고, injector는 250°C에서 split/splitless mode로 하였으며, detector는 250°C로 유지한 FID를 사용하였다.

## 제2절 호박과실파리 안테나와 작은턱수염에 대한 냄새활성물질 동정

냄새감각은 교미나 산란 등 곤충의 생활에 중요한 역할을 하며, 많은 냄새활성물질들이 동정되어 유인제나 기피제 등으로 개발되었고, 이들은 친환경적인 해충 방제 수단으로 이용되고 있다. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*)는 동북아시아에 존재하며 호박, 애호박, 하늘타리 등의 박과 식물을 기주로 하는 해충으로 (Mun et al. 2003), 유충이 과실 안에 서식하여 살충제를 사용한 방제에 어려움이 있어서 호박과실파리에 대한 효율적인 유인제의 개발이 요구되는 실정이다. 호박과실파리의 안테나와 작은턱수염은 합성 식물 냄새물질의 혼합물 및 호박과실파리의 기주식물로부터 포집한 기주 냄새물질 추출물에 특징적인 GC-EAD 및 GC-EPD 반응을 보여주어 이들 혼합물에 포함된 수많은 냄새물질들 중에서 특정한 물질들에 안테나와 작은턱수염이 각각 특이적으로 감지할 수 있음을 나타내었다 (Figure 3-3).



**Figure 3-3.** 호박과실파리 암컷과 수컷의 식물 냄새물질 혼합물(A ~ C) 및 호박 냄새 추출물(D)에 대한 GC-EAD 반응. A는 87 가지 합성 식물 냄새화합물들을 함유한 RDA Mix A, B는 89 가지 합성 식물 냄새화합물들을 함유한 RDA Mix B, C는 87 가지 합성 식물 냄새화합물들을 함유한 RDA Mix C에 대한 호박과실파리 암컷과 수컷의 GC-EAD 반응임.

### 1. 합성 식물 냄새물질들 중 호박과실파리에 대한 냄새활성물질

세 가지의 RDA Mixture에 포함된 총 248 개의 합성 식물냄새물질 중에서 49 개의 물질이 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 안테나 또는 작은턱수염에 냄새활성을 나타냈으며 이들 중에서 18 가지 물질이 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 안테나 또는 작은턱수염에 특히 강한 냄새활성을 나타냈다 (Table 3-3). Table 3-3은 호박과실파리 안테나에 냄새활성을 나타낸 물질들과 이들의 GC retention time 및 호박과실파리 암, 수컷의 EAD 반응 강도를 보여주는데, 특히 2-pentanol, 3-methyl-1-butanol 및 1-hexen-3-ol 등 비교적 휘발성이 높은 물질들에 대하여 상대적으로 강한 EAD 반응을 나타냈으며, 2-pentanol, 3-methyl-1-butanol, butyl acetate, butyl propionate, methyl (*E*)-3-hexenoate 및 dimethyltrisulfide는 암, 수컷 모두에서 강한 EAD 활성을 나타냈다. 여섯 가지 물질들은 암, 수컷 간의 EAD 반응에 큰 차이를 보였는데 (Table 3-1 ★, ★), 이 중 네 가지 물질(1-hexen-3-ol, *Z*-2-hexen-1-ol, 1-heptanol, geranylacetone)에 대해서는 호박과실파리 암컷만이 강한 반응을 나타냈고(★), 두 가지 물질(ethyl hexanoate, dimethyl malonate)에 대해서는 수컷만이 강한 반응을 나타냈다(★). 세 가지의 PFR mixture에 포함된 총 280 개의 합성 식물냄새물질 중에서는 51 개의 물질이 호박과



실파리 및 호박꽃과실파리의 안테나 또는 작은턱수염에 냄새활성을 나타내었다 (Figure 3-4, 3-5, 3-6, Table 3-4). 안테나에 냄새활성을 나타낸 물질에 비해 작은턱수염에 냄새활성을 나타낸 물질의 수는 훨씬 적었으며, 작은턱수염에 강한 냄새활성을 나타낸 물질들은 안테나에는 거의 활성을 나타내지 않아서 이들 물질이 작은턱수염에 존재하는 냄새감각세포에 특이적인 냄새활성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한, 강한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응을 나타낸 냄새활성물질들의 종류는 호박과실파리와 호박꽃과실파리 간에 큰 차이를 나타내어 각 종의 안테나와 작은턱수염에 존재하는 냄새감각세포의 종류와 이들에 대한 활성물질들은 종 특이적임을 알 수 있었다.

본 연구에서 밝혀진 18 가지의 EAD 활성물질 중에서 7 가지 물질은 호박과실파리의 기주식물들이 속한 박과(Cucurbitaceae) 식물에서 발산되는 냄새물질로 알려져 있다. 3-methyl-1-butanol, 1-heptanol 및 1-nonanol 은 여주(bitter gourd, *Momordica* 속)에서 발산되며 (Mukherjee et al. 2015; Fernando & Grun 2001), ethyl butyrate, 1-heptanol, dimethyltrisulfide 및 ethyl hexanoate 는 멜론(melon, *Cucumis* 속)에서 발산되고 (Verzera et al. 2012), 3-methyl-1-butanol, 1-heptanol, diemethyltrisulfide 및 1-nonanol 은 호박(pumpkin, *Cucurbita* 속)에서 발산되며, 1-nonanol 및 geranylacetone은 수박(watermelon, *Citrullus* 속)에서 발산(Liu et al. 2012)되는 것으로 알려져 있다. 호박과실파리에 EAD 활성을 나타낸 물질들 중 11 가지 물질들이 이들의 기주식물에서 발산되는지는 불분명하다. 호박과실파리는 기주 특이적 냄새감각세포들과 비기주 특이적 냄새감각세포들로부터의 정보를 종합하여 이들의 기주식물을 효율적으로 탐지할 것으로 사료된다.

호박과실파리에 냄새활성을 보인 18 가지 물질 중 6 가지 물질은 성 특이적인 EAD 활성을 나타내어, 이들이 성 특이적인 행동과 연관이 있을 가능성이 크다. 흥미롭게도 세 가지 short chain aliphatic alcohol(1-hexen-3-ol, *ZZ*-hexen-1-ol 및 1-heptanol)은 호박과실파리 암컷에만 강한 EAD 반응을 보여주었는데, 이들은 모두 green leaf volatile이며 산란 등의 암컷 특이적인 행동에 관련이 있을 것으로 생각된다. 수컷 특이적인 EAD 활성을 나타낸 두 가지 ester(ethyl hexanoate 및 diemethyl malonate)가 호박과실파리 수컷의 행동에 어떠한 영향을 미치는지는 불분명하다

기주 및 비기주 식물에서 발산되는 냄새물질들을 혼합하여 GC-EPD 반응을 측정한 결과, 호박과실파리의 작은턱수염에 있는 냄새감각세포들은 비교적 적은 수의 냄새물질에 특이적인 반응을 보였는데, 몇 가지 물질은 암, 수컷 모두의 작은턱수염에서 강한 EPD 반응을 나타냈으며, 일부 물질은 작은턱수염의 냄새감각세포에 대해 성특이적인 EPD 활성을 나타내었다 (Figure 3-7). 이것은 호박과실파리의 작은턱수염에는 성 특이적인 냄새감각세포가 존재한다는 사실을 보여주며, 따라서 호박과실파리에는 성페로몬 등 성 특이적인 행동에 관여하는 냄새물질이 존재한다는 것을 암시한다.

**Table 3-3.** 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷 또는 수컷의 안테나에 비교적 강한 EAD 반응을 나타낸 합성 식물 냄새 물질들 및 암, 수컷의 반응 크기. 동그라미의 개수는 해당 물질에 대한 호박과실파리 안테나의 상대적 반응 크기를 나타냄.

Compounds	Retention time	EAD responses	
		Male	Female
2-Pentanol	1.933	oooo	oooo
3-Methyl-1-butanol <sup>2,6</sup>	2.063	oooo	oooo
★ 1-Hexen-3-ol	2.272		oooo
Ethyl butyrate <sup>3</sup>	2.358	ooo	ooo
Butyl acetate	2.424	oooo	oooo
3-Methyl-1-pentanol	2.663	oo	ooo
Ethyl-2-methyl butanoate	2.728	ooo	ooo
★ Z2-Hexen-1-ol	2.801		oooo
Propyl butyrate	2.934	oo	ooo
Butyl propionate	2.996	oooo	oooo
Methyl (E)-3-hexenoate	3.204	oooo	oooo
★ 1-Heptanol <sup>1,3,6</sup>	3.429		ooo
Dimethyltrisulfide <sup>3,4,6</sup>	3.521	ooo	oooo
★ Ethyl hexanoate <sup>3</sup>	3.637	oooo	
★ Dimethyl malonate	4.152	oooo	
2-Nonanone	4.329	ooo	ooo
1-Nonanol <sup>1,5,6</sup>	4.894	o	o
★ Geranylacetone <sup>5</sup>	6.669		oo

1: Mukherjee et al (2015, *Momordica cochinchinensis*)(bitter gourd); 2: Fernando and Grun (2001, *Momordica charantia and Luffa acutangula*)(bitter gourd); 3: Verzera et al (2011, *Cucumis melo*)(melon); 4: Kebede et al (2014, *Cucurbita pepo*)(pumpkin); 5: Liu et al (2012, *Citrullus vulgaris*)(watermelon); 6: Leffingwell et al (2015, *Cucurbita pepo*)(pumpkin)

**Table 3-4.** 합성 식물냄새물질들 중에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*)에서 강한 EAD 또는 EPD 반응을 나타낸 물질들.

Compound	Compound	Compound
2-Aminoacetophenone	Benzyl acetate	Butyl acetate
Butyl propionate	Butyl-2-methyl butyrate	β-Caryophyllene
m-Cresol	2-Decanone	Decylalcohol
Diethyl malonate	Dimethyldisulfide	Dimethyltrisulfide
Ethyl benzoate	Ethyl butyrate	Ethyl heptanoate
Ethyl hexanoate	Ethyl-2-methyl butanoate	Ethyl nicotinate
Geranylacetone	1-Heptanol	2-Heptanone
1-Hexanol	1-Hexen-3-ol	Z2-Hexen-1-ol
Z3-Hexen-1-ol	Isoamyl acetate	Isophorone
Limonene	Linalool	2-Methoxyacetophenone
Methyl benzoate	3-Methyl-1-butanol	Methyl (E)-3-hexenoate
Methyl hexanoate	Methyl octanoate	3-Methyl-1-pentanol
Methyl salicylate	Methyl-o-anisate	Nerol
1-Nonanol	2-Nonanol	2-Nonanone
γ-Octalactone	3-Octanone	2-Pentanol

$\alpha$ -Pinene	2-Propanol	Propyl butyrate
2-Propyl-1-pentanol		

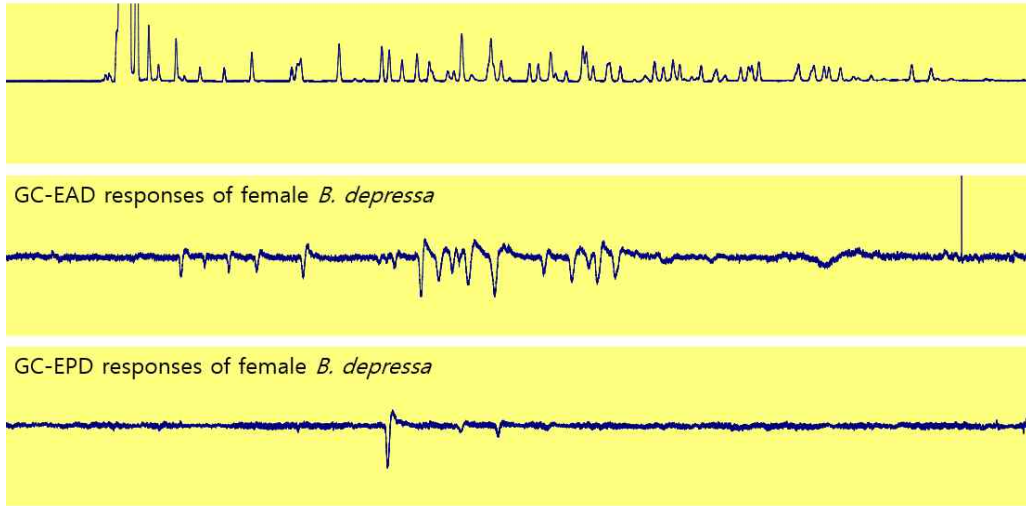
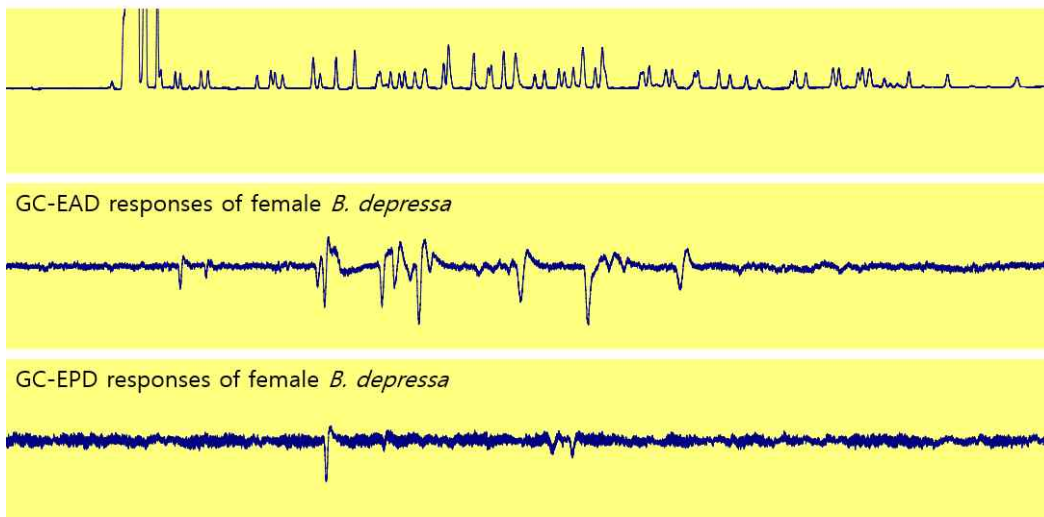


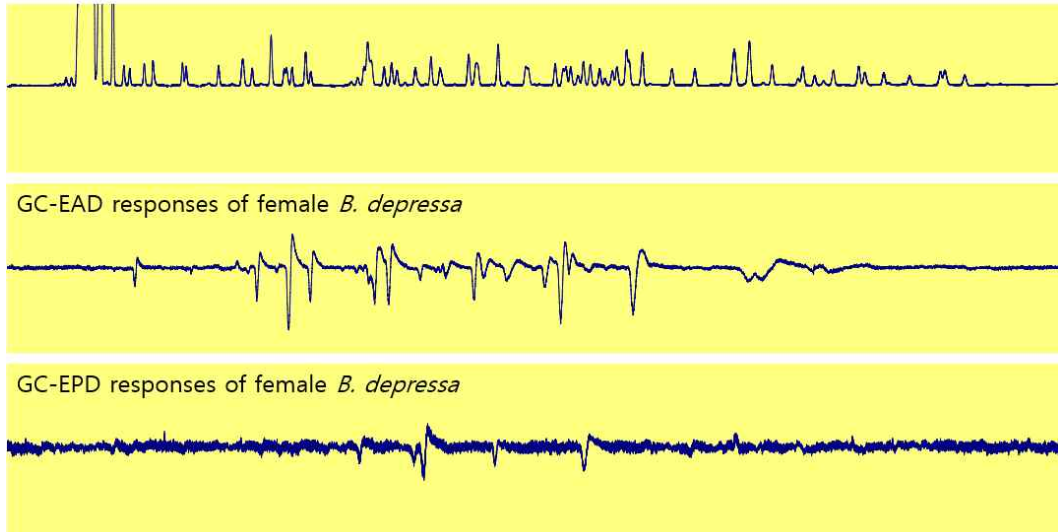
Figure 3-4.

호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷의 합성 식물냄새물질 혼합물 PFR Mix A(mixture of 97 compounds)에 대한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응.



Figure

3-5. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷의 합성 식물냄새물질 혼합물 PFR Mix B(mixture of 91 compounds)에 대한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응.



Figure

3-6. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷의 합성 식물냄새물질 혼합물 PFR Mix C(mixture of 92 compounds)에 대한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응.

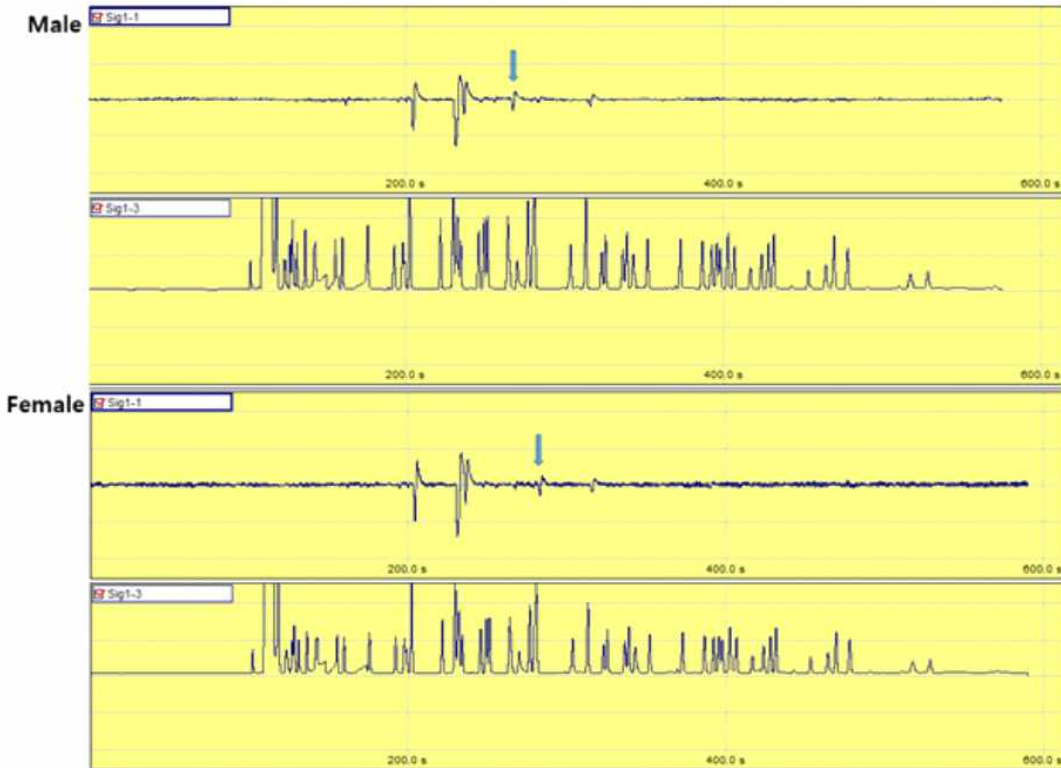


Figure 3-7. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 수컷(위)과 암컷(아래)의 합성 식물냄새물질 혼합물 RDA Mix A(mixture of 87 compounds)에 대한 GC-EPD 반응. 파란색 화살표로 표시된 두 가지 물질은 각각 수컷과 암컷의 작은턱수염에서 성특이적인 반응을 나타냈음.

## 2. 기주식물에서 발산하는 호박과실파리에 대한 냄새활성물질

호박과실파리의 기주식물들로부터 발산되는 냄새물질을 포집하여 추출한 headspace extracts를 사용하여 호박과실파리 암컷의 GC-EAD 및 GC-EPD 반응을 조사한 결과, 호박과실파리의 선호 기주 작물인 단호박(Figure 3-8)과 애호박(Figure 3-9)의 추출물에서 강한 EAD 및 EPD 반응을 나타내는 물질이 존재하였다. 단호박의 추출물에서는 최소 8 개의 물질이 호박과실파리의 암컷 안테나에 대해 EAD 반응을 나타냈고 최소 3 개의 물질이 호박과실파리의 암컷 작은턱수염에 대

해 EPD 반응을 보여주었는데 (Figure 3-8), 이들 물질 중 한 가지 물질(Figure 3-8의 첫 번째 큰 EAD 반응)이 아주 강한 EAD 반응을 보여주었고 다른 한 가지 물질(Figure 3-8의 첫 번째 큰 EPD 반응)은 아주 강한 EPD 반응을 나타냈다 (Figure 3-8). 이들 두 가지 물질은 GC retention time에 근소한 차이를 나타내어 서로 다른 화학구조를 갖는 물질이라는 것을 알 수 있었다. 애호박의 추출물에서는 최소 6 개의 물질이 호박과실파리의 암컷 안테나에 대해 EAD 반응을 나타냈고 최소 2 개의 물질이 호박과실파리의 암컷 작은턱수염에 대해 EPD 반응을 보여주었는데 (Figure 3-9), 이들 물질 중 한 가지 물질(Figure 3-9의 첫 번째 큰 EAD 반응)이 아주 강한 EAD 반응을 보여주었고 다른 한 가지 물질(Figure 3-9의 첫 번째 큰 EPD 반응)은 아주 강한 EPD 반응을 나타냈다 (Figure 3-9). 단호박의 경우에서와 마찬가지로, 이들 두 가지 물질은 GC retention time에 근소한 차이를 나타내어 서로 다른 화학구조를 갖는 물질이라는 것을 알 수 있었다. 이들 두 가지 물질은 단호박과 애호박에 모두 공통적으로 존재하는 물질로 보이며 이들 두 가지 기주 작물에서 공통적으로 발산되는 이들 두 가지 물질이 각각 아주 큰 EAD 활성과 EPD 활성을 나타내는 것으로 판단되었다. 호박과실파리 암컷은 호박과실파리의 야생 선호 기주식물인 하늘타리에서 포집하여 추출한 물질에도 안테나와 작은턱수염에 강한 냄새활성을 나타내는 물질이 존재하는 것을 알 수 있었다 (Figure 3-10). 하늘타리의 추출물에서는 최소 1 개의 물질이 호박과실파리의 암컷 안테나에 대해 EAD 반응을 나타냈고 최소 2 개의 물질이 호박과실파리의 암컷 작은턱수염에 대해 EPD 반응을 보여주었는데 (Figure 3-10), 이들 물질 중 한 가지 물질(Figure 3-10의 큰 EAD 반응)이 아주 강한 EAD 반응을 보여주었고 다른 한 가지 물질(Figure 3-10의 첫 번째 큰 EPD 반응)은 아주 강한 EPD 반응을 나타냈다 (Figure 3-10). 이들 두 가지 물질은 애호박과 단호박에서 강한 EAD 반응과 EPD 반응을 나타낸 두 가지 물질과 GC retention time이 동일한 것으로 보아 이들 물질과 같은 물질인 것으로 보인다. 호박과실파리 암컷에 아주 강한 EAD 활성과 EPD 활성을 나타내는 이 두 가지 물질은 추출물을 100 배로 농축한 상태에서도 GC의 peak 가 뚜렷하게 보이지 않아서 이 물질이 기주식물에서 방출되는 양은 아주 적은 것으로 판단되며, 상대적으로 호박과실파리 안테나와 작은턱수염에 있는 이 물질에 대한 감각세포의 감도는 매우 높은 것으로 판단된다. 이 물질이 호박과실파리의 안테나와 작은턱수염에 아주 강한 냄새활성을 나타내고 호박과실파리의 주요 기주식물에서 공통적으로 방출되는 것으로 보아, 이 물질이 호박과실파리의 행동과 생태에 중요한 역할을 할 가능성이 클 것으로 판단되며, 이 물질의 화학구조 규명이 아직 완료되지 않은 상태이다.

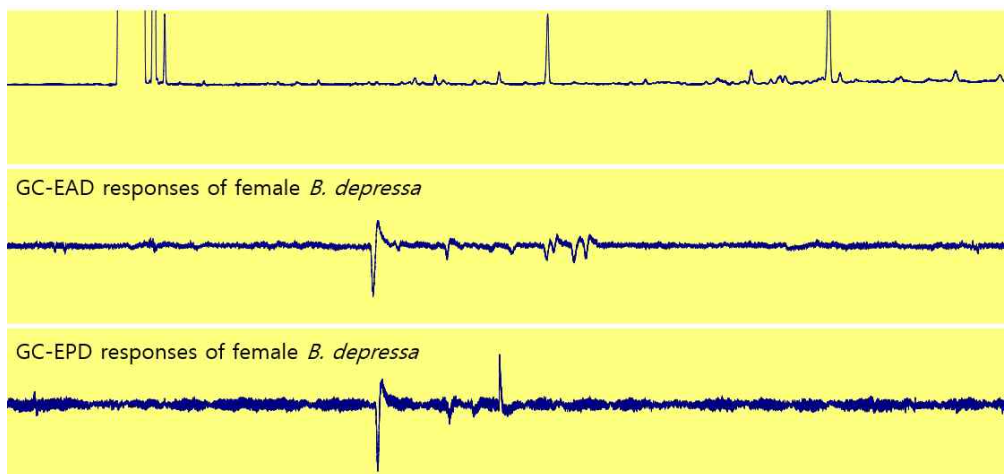


Figure 3-8.

호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷의 단호박 headspace extract에 대한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응.

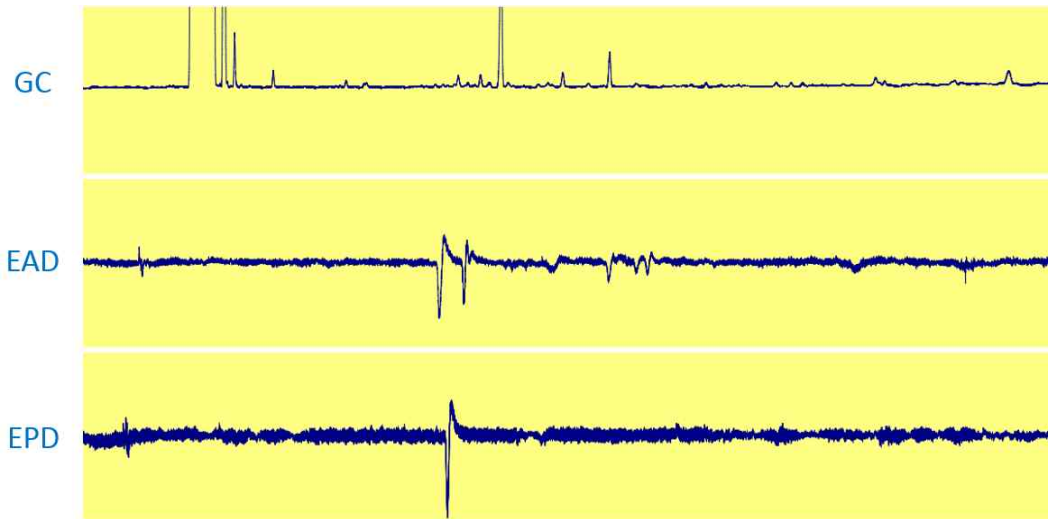


Figure 3-9. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷의 애호박 headspace extract에 대한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응.

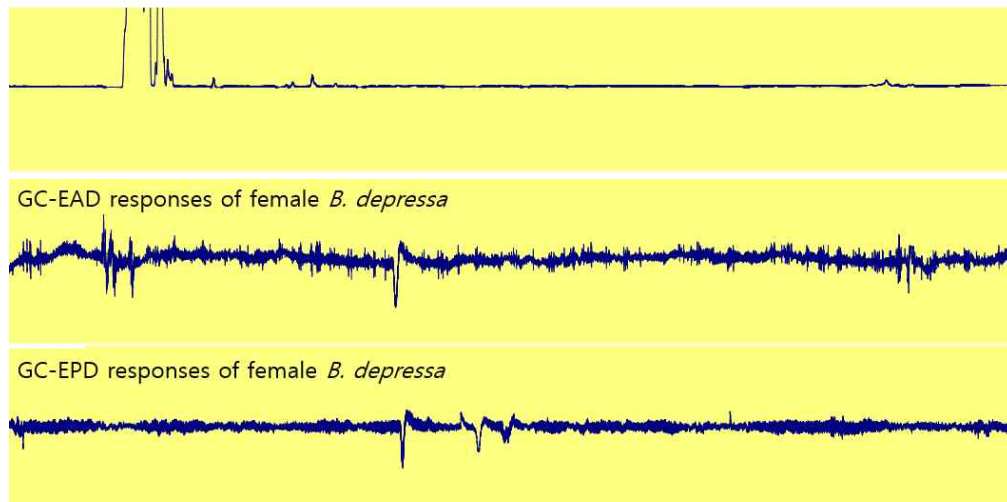


Figure 3-10. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷의 하늘타리 headspace extract에 대한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응.

## 제17장 호박꽃과실파리 안테나 및 작은턱수염에 대한 냄새활성물질 탐색

호박꽃과실파리(*Bactrocera scutellata*)는 한국, 일본 등 아시아에 분포하여 다양한 종류의 박과 식물에 피해를 주는 해충으로, 이들의 안테나 및 작은턱수염에 존재하는 냄새감각기(olfactory sensilla)들은 기주 탐색 등에 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 GC-EAD (gas chromatography-electroantennogram detection) 및 GC-EPD (gas chromatography-electropalpogram detection) 기술을 이용하여 호박꽃과실파리의 안테나 및 작은턱수염의 냄새감각세포에 활성을 나타내는 물질을 탐색하였다. 호박꽃과실파리 안테나로부터의 GC-EAD 반응 측정과 호박꽃과실파리의 작은턱수염으로부터 GC-EPD 반응 측정은 호박과실파리의 경우에서와 동일한 방법을 사용하여 수행되었다

호박과실파리에서와 마찬가지로, 호박꽃과실파리 암컷의 안테나와 작은턱수염도 본 연구에서 사용된 여러 가지의 기주 및 비기주 식물의 휘발성 물질들에 대해 냄새 활성을 나타냈다 (Figure 4-1). 안테나에 냄새활성을 나타낸 물질에 비해 작은턱수염에 냄새활성을 나타낸 물질의 수는 훨씬 적었으며, 작은턱수염에 강한 냄새활성을 나타낸 물질들은 안테나에는 거의 활성을 나타내지 않아서 이들 물질이 작은턱수염에 존재하는 냄새감각세포에 특이적인 냄새활성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 또한, 강한 GC-EAD 및 GC-EPD 반응을 나타낸 냄새활성물질들의 종류는 호박과실파리와 호박꽃과실파리 간에 큰 차이를 나타내어 각 종의 안테나와 작은턱수염에 존재하는 냄새감각세포의 종류와 이들에 대한 활성물질들은 종 특이적임을 알 수 있었다.

기주 및 비기주 식물에서 발산되는 냄새물질들의 혼합물에 대한 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 GC-EPD 반응을 측정한 결과를 보면, 호박과실파리와 호박꽃과실파리 암컷 작은턱수염은 각각 다른 종류의 식물 냄새화합물들에 강한 EPD 반응을 나타내었는데 (Figure 4-1), 이는 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 작은턱수염에는 종 특이적인 특화된 냄새감각세포들이 존재한다는 것을 의미하여 이들 종에 대한 종 특이적인 유인제의 개발 가능성을 시사하고 있다.

호박과실파리와 호박꽃과실파리의 주 기주식물인 호박과 호박꽃에서 채취한 headspace extract에 대한 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 GC-EPD 반응을 측정한 결과를 보면, 호박과실파리와 호박꽃과실파리는 호박에서 발산되는 몇 가지 냄새화합물들에 큰 EPD 반응을 나타내었으며, 강한 EPD 반응을 나타내는 호박에서 발산되는 냄새물질의 종류가 두 종 사이에 큰 차이를 보여주었다 (Figure 4-2). 이는 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 작은턱수염에 있는 냄새감각세포에 강한 활성을 갖는 냄새물질들이 생산된다는 것을 의미하며, 두 종 사이에 활성물질들의 종류에 큰 차이를 보이는 것은 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 작은턱수염에 이들 물질들에 대해 특화된 냄새감각세포들이 존재한다는 것을 의미한다. 호박과실파리와 호박꽃과실파리는 호박에 유인되기 때문에 이들 종에 강한 EPD 활성을 보인 호박에서 발산되는 냄새물질들이 기피 효과를 갖지는 않을 것으로 판단되며, 이들 물질들 중 적어도 일부는 각 종에 대해 종 특이적인 유인 활성을 보일 가능성이 크다. 각 추출물에 함유된 물질들은 GC-MS 등의 유기분석 방법을 사용하여 동정되었다 (Figure 4-3, Table 4-1).

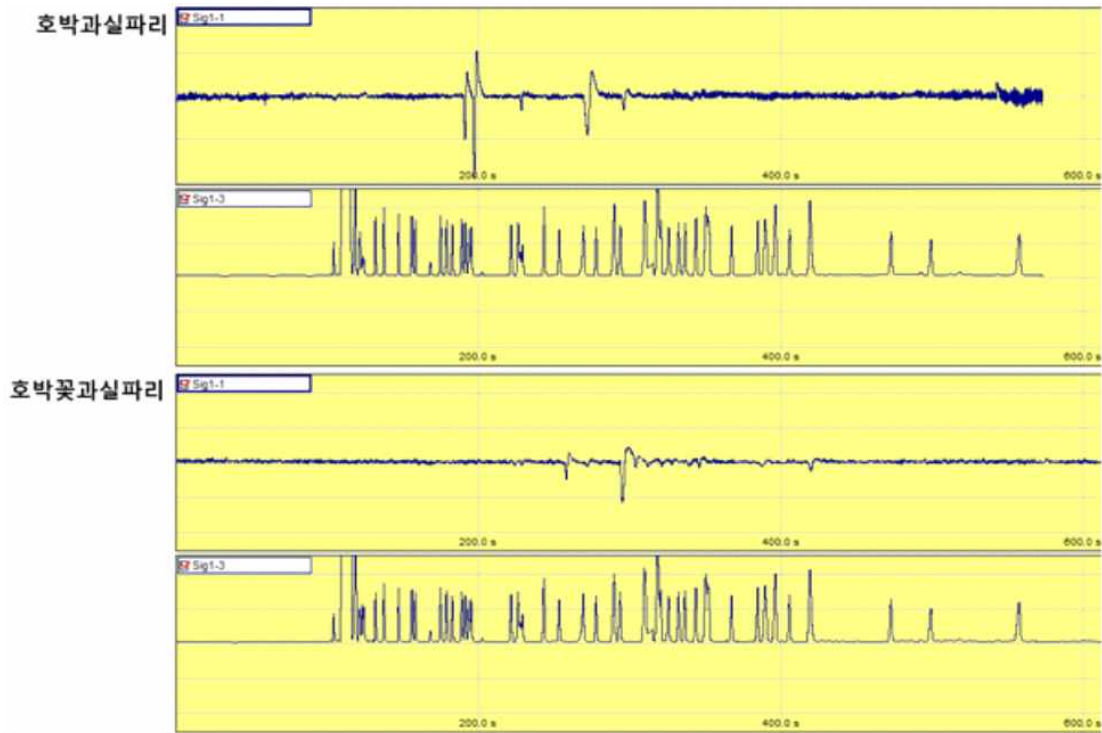


Figure 4-1. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷과 호박꽃과실파리(*B. scutellata*) 암컷 작은턱수염의 합성 식물 냄새물질 혼합물(RDA Mix A: 87 compounds 함유)에 대한 GC-EPD 반응. 각 종은 종 특이적인 EPD 반응을 나타내어 작은턱수염에 대한 냄새활성물질의 종류가 두 종 간에 크게 다른 것을 보여줌.

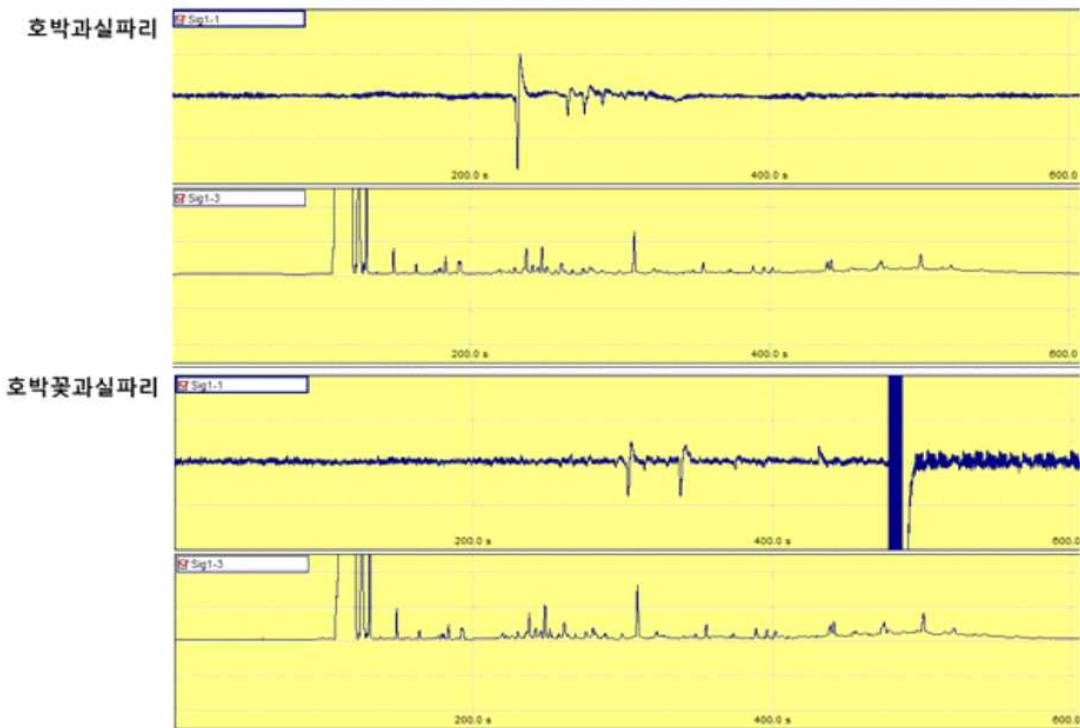
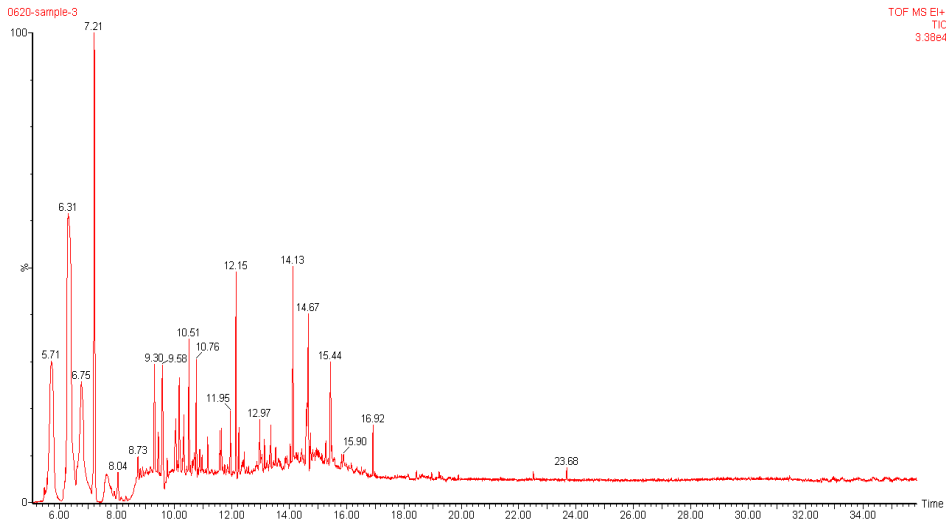


Figure 4-2. 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷과 호박꽃과실파리(*B. scutellata*) 암컷 작은턱수염의 이들의 주요 기주식물인 단호박에서 발산되는 냄새물질들을 포함하여 추출한 추출물에 대한 GC-EPD 반응. 이 반응은 단호박에서 발산되는 물질들 중에서 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 작은턱수염에 아주 강한 냄새 활성을 나타내는 물질이 존재한다는 것을 보여주며, 각 종은 종 특이적인 EPD 반응을 나타내어 작은턱수염에 대한 단호박에서 발산되는 냄새활성물질



의 종류가 두 종 간에 크게 다른 것을 보여줌.



**Figure 4-3.** 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷과 호박꽃과실파리(*B. scutellata*) 암컷의 안테나와 작은턱수염에 EAD 활성과 EPD 활성을 나타낸 물질들을 함유한 단호박에서 발산되는 휘발성 물질들을 포집하여 추출한 추출물을 GC-MS로 분석한 결과 예.

**Table 4-1.** 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 암컷과 호박꽃과실파리(*B. scutellata*) 암컷의 안테나와 작은턱수염에 EAD 활성과 EPD 활성을 나타낸 물질들을 함유한 단호박에서 발산되는 휘발성 물질들을 포집하여 추출한 추출물을 GC-MS로 분석하여 동정한 단호박 추출물에 함유된 휘발성 물질들. Retention time(Rt)은 Figure 4-3에서와 동일함.

Rt (retention time)	GC-MS로 동정한 화합물 명
5.71	Propanoic acid, 2-methyl-, 2-methylpropyl ester
6.29	Urea, ethyl-
6.29	Thiazole, tetrahydro-
6.31	Acetaldehyde, tetramer
6.75	Nitrogen trifluoride
7.21	Butanoic acid, pentyl ester
8.02	Azetidine, 1,2-dimethyl-
8.73	3-Methyl-3-nitrobut-1-ene
8.8	Tetramethyl orthocarbonate
9.31	Propanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester
9.44	Acetonitrile, ethoxy-
9.58	Butanoic acid, 1-methylhexyl ester
9.61	Dimethylphosphinic fluoride
9.75	Pentane, 3,3-dimethyl-
10.05	Propanoic acid, 2,2-dimethyl-, hexyl ester
10.18	Isopentyl hexanoate
10.33	Hexane, 2,4-dimethyl-
10.51	Decane, 2,4-dimethyl-
10.55	2,5-Furandione, dihydro-3-methyl-
10.63	1-Butene, 4-methoxy
10.69	1-Butanesulfonamide, 1,1,2,2,3,3,4,4,4-nonafluoro-
10.75	(-)-O-Acetylmalic anhydride

11.16	Butanimidamide
11.59	2,4-Nonadienal
11.64	1-Hexanol, 4-methyl-
11.73	2-Propynenitrile, 3-fluoro-
11.78	Isophthalic acid, 2-bromo-4-fluorophenyl pentyl ester
11.95	Propanoic acid, 2-methyl-, propyl ester
12.15	7-Tetradecene, (Z)-
12.43	Methanamine, 1,1,1-trifluoro-
12.96	Oxalic acid, allyl isohexyl ester
13.03	1,1,1,2,3,3,3-Heptafluoro-2-methoxypropane
13.05	Methacrylamide
13.14	2-(2-Dipropylaminoethyl)-pyridine
13.32	1H-Imidazole, 4,5-dihydro-2-methyl-
13.36	1,2-Dimethyl-3-ethyl diaziridine
14.13	Isoelemicin
14.57	Methyl 4,6-ethylidene- $\alpha$ -D-galactopyranoside
14.6	1,3-Benzenediol, o-(2-furoyl)-o'-(2-methoxybenzoyl)-
14.61	Propane-1,1-diol dipropanoate
14.65	Benzaldehyde, 2-ethyl-
14.67	9-Octadecene, (E)-
14.75	Pentanoic acid, 1,1-dimethylpropyl ester
16.92	2-Propenoic acid, 2-propenyl ester
16.93	Ethyl propiolate
18.44	1(2H)-Naphthalenone, 2-(2-furanylmethylene)octahydro-8a-methyl-, (4aR-trans)-
22.82	L-Proline, N-(3-chloropropionyl)-, butyl ester
23.68	N-(2-Oxo-2,3-dihydro-1H-benzoimidazol-5-yl)-butyramide
29.59	2-Methyl-6-phenyl-3-thioxo-5-oxo-2,3,4,5-tetrahydro-1,2,4-triazine
31.38	Cinnamyl cinnamate
33.32	1,2,4-Triazine-3,5(2H,4H)-dione, 6-fluoro-
34.63	4-Methyl-6-phenyl-3-thioxo-3,4-dihydro-1,2,4-triazin-5(2H)-one
36.46	3-Methylbutyl N,O-bis(heptafluorobutyryl)hydroxyprolinate

---

## 제18장 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 유인 활성물질 검정

본 연구는 GC-EAD 및 GC-EPD 연구를 통해 동정한 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)의 암, 수컷 안테나 및 작은턱수염에 있는 냄새감각세포들에 냄새 활성을 나타내는 물질들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 행동 활성을 실내 bioassay와 야외 트랩실험을 통해 검정하여 이들에 대한 유인제를 개발하기 위해 수행되었다. Polyethylene dispenser 및 원통형 트랩을 설치한 아크릴 케이지에서 time-lapse recording을 장착한 lab bioassay 시스템을 사용하여, 지금까지 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 통해 동정한 EAD-active compounds 및 EPD-active compounds를 여러 가지 조합으로 하여 이들에 대한 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 행동 반응을 조사하였고, EAD 및 EPD 활성 물질들을 여러 가지 조합으로 하여 polyethylene bag dispenser로 제조하여 끈끈이판에 부착한 빨간색 델타 트랩을 사용한 야외 트랩 실험을 통해 이들 물질의 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 검정하였다. 우리는 이 연구를 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 유인력을 나타내는 냄새물질들을 동정하였다.

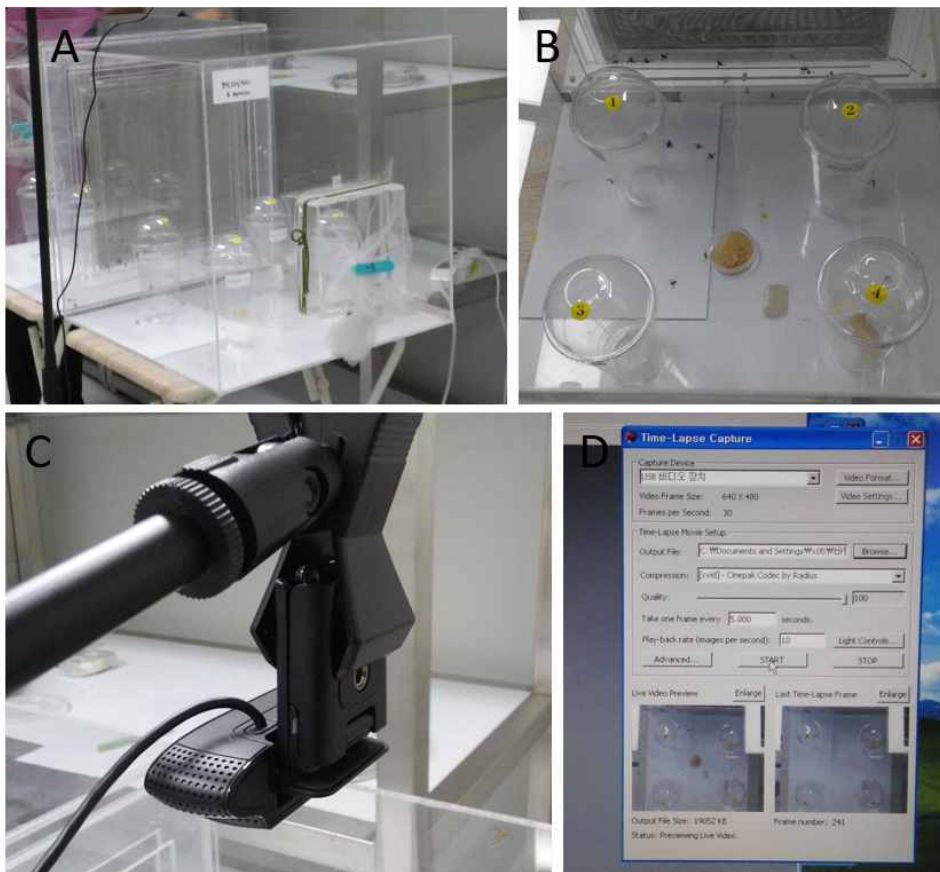
### 제1절 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 행동반응 실내생물검정

실내 생물 검정(lab bioassay)은 2017년 후반기부터 2019년 초반까지 계속 진행하였다. 본 연구는 GC-EAD와 GC-EPD 연구를 통해 동정된 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)의 안테나와 작은턱수염에 냄새활성을 나타내는 물질들에 대한 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 행동 반응을 알아보기 위해 수행되었다. Polyethylene dispenser 및 원통형 트랩을 설치한 아크릴 케이지에서 time-lapse recording을 통해 수행한 실내생물검정 실험에서는 EAD-active compounds 및 EPD-active compounds를 개별 또는 여러 가지 조합으로 제조하여 이들에 대한 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 조사하였는데, 이들 과실파리들이 트랩에 포획되는 것이 다수 관찰되었으나, 실험곤충 공급이 제한되었고 재현성의 확인이 용이하지 않아서, 실내생물검정을 통해 입수된 합성 냄새물질들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 행동 활성에 대한 새로운 정보의 입수에 많은 시간이 소요될 것으로 예상되어 이후의 행동 활성 검정은 야외 트랩실험을 통해 수행하였다.

#### 1. 재료 및 방법

실내 생물검정(lab bioassay)을 통해 합성 냄새활성물질들의 행동 활성을 측정하기 위해 150 ml 용량의 투명한 플라스틱 용기(높이 15 cm, 상단 직경 8 cm)를 트랩으로 사용하고, webcam과 컴퓨터 프로그램(Handy Avi)을 이용해서 time-lapse video recording를 할 수 있는 bioassay 시스템을 구축하여 사용하였다 (Figure 5-1). 트랩 안에 위치한 냄새 물질에 유인된 과실파리는 트랩으로 사용한 원통형 플라스틱 용기의 뚜껑 상단에 있는 직경 1 cm 정도의 구멍을 통해 용기 내부로 들어올 수 있도록 하였다. Test compounds는 적정 농도로 hexane에 용해하여 사용하였고, 1 ml의 용액을 사방 2 cm 크기의 정사각형 모양 felt 또는 길이 1.5 cm 정도의 치과용 솜방망이(cotton wick)에 가하고 이를 사방 3 cm 크기의 정사각형 polyethylene 봉지(PE bag, 두께 50  $\mu$ m)에 넣어 밀봉하여 test compounds가 polyethylene membrane을 통해 스며 나오도록 하여 시험 물질의 dispenser로 사용하였다. 시험 물질을 함유한 원통형 트랩(처리구) 두 개와 시험물질을 함유하지 않은 원통형 트랩(대조구) 두 개를 한 변이 60 cm 크기의 정방형 아크릴 케이지의 바닥에 위치시키고 (Figure 5-1 B), 케이지 안에 일정 수의 호박과실파리 또는

호박꽃과실파리 성충을 넣은 다음, 1 - 4 일이 경과한 후에 각 트랩에 포획된 개체의 수를 조사하였다. 각 트랩에 포획되는 개체들의 행동을 관찰하고 트랩에 들어간 개체가 다시 트랩 밖으로 나오는 것이 있는지를 확인하기 위하여 time-lapse video camera(Figure 5-1 C)를 아크릴케이지의 상단에 설치하고 실험이 진행되는 동안 1 - 5 frame/10 s의 속도로 동영상 촬영하여 HandyAvi 프로그램을 사용하여 컴퓨터에 저장하고 실험이 끝난 다음 이를 분석하였다 (Figure 5-1 D). 실내생물검정에는 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 통해 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 안테나 또는 작은턱수염에 냄새활성을 나타낸 물질들과 이들의 기주식물인 호박 등 박과식물이 발산하는 냄새물질, 그리고 오이과실파리에 유인활성이 있는 것으로 보고된 ‘Cucumber volatile plug’ (Shelly et al., 2017) 등을 여러 조합으로 만들어 시험 물질로 사용하였다 (예: Table 5-1). 본 연구에서는 총 52 회의 실내생물검정 실험을 수행하였다.



**Figure 5-1.** 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 합성물질들에 대한 행동 활성을 측정하기 위한 실내 바이오어세이 시스템. A: 바이오어세이에 사용된 아크릴 케이지; B: 아크릴 케이지 안에 테스트 물질을 함유한 4 개의 투명 플라스틱 트랩들을 위치시키고 트랩 안으로 들어가는 과실파리 수를 측정함; C: 실험 기간 동안 time-lapse video recording을 하여 포획됐다가 밖으로 나오는 개체가 있는지 확인함; D: time-lapse recording에 사용된 컴퓨터 프로그램의 스크린샷.

**Table 5-1.** 실내 생물검정에 사용한 조성 예 (amount in mg)

Compound	조성											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Methyl hexanoate	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3-Octanone	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ethyl hexanoate	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10
2-Heptanone	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10
Butyl propionate	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10
1-Octen-3-ol	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10
<i>m</i> -Cresol	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10
Methyl octanoate	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10
Isophorone	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10
Methyl ( <i>E</i> )-3-hexenoate	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10
Ethyl heptanoate	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0

## 2. 결과

네 개의 원통형 투명 플라스틱 트랩에 hexane, cue lure, raspberry ketone 및 methyl eugenol 을 각각 10 mg씩 넣은 polyethylene bag dispenser 를 준비하여 각 트랩에 하나씩 넣고, 이렇게 준비한 네 개의 트랩을 각각 두 개의 아크릴케이지에 넣은 다음, 한 케이지에는 암, 수 동수의 호박과실파리 성충을 방사하고 다른 케이지에는 암, 수 동수의 호박꽃과실파리를 방사한 다음 24 시간이 경과한 후에 트랩에 포획된 개체의 수를 조사하였다. 또한, 실험 기간 동안 기록한 time-lapse video recording을 분석하여 트랩에 포획된 개체가 트랩 밖으로 탈출하는 경우가 있는지 확인하였다. 그 결과, 호박과실파리는 4 가지 물질 어느 것에도 유인, 포획되지 않았고, 호박꽃과실파리는 cue lure 에 평균 8.0%가 유인, 포획되었으며 methyl eugenol에 는 평균 2.0%가 유인, 포획되었다. Cue lure 에 유인, 포획된 호박꽃과실파리는 모두 수컷이었다. 이 결과는 cue lure가 호박꽃과실파리에 유인 활성이 있다는 것을 확인해 주었다.

Time-lapse lab bioassay 시스템을 사용하여 실내 생물검정을 한 결과, 총 52 회의 실내생물검정 실험 중에서 38 회의 실험에서 plastic cup trap에 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리가 포획되었다. GC-EAD 및 GC-EPD 연구를 통하여 동정한 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 안테나 및 작은턱수염에 냄새 활성을 나타내는 물질들을 개별로 10 mg을 함유한 dispenser를 트랩에 위치시켰을 경우에는 어느 성분들도 호박과실파리나 호박꽃과실파리에 대해 뚜렷한 유인력을 나타내지 않았다. 이들 성분을 각 개별 성분을 10 mg씩 함유하는 여러 조합으로 하는 혼합물을 제조하여 길이 1.5 cm의 솜방망이에 가한 방출제를 만들어 트랩에 위치시켰을 경우에는 약한 유인력을 보이는 조성들이 있었다. 2018년의 실내 생물검정에서도 유사하게 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리 암, 수컷에 약한 유인력을 나타내는 조성이 발견되었지만, 이 조성은 2019년의 실내 생물검정에서는 뚜렷한 유인력을 보여주지는 않았다. 실내 생물검정에는 충분한 실험곤충의 공급이 중요한데, 2018년과 2019년에는 제한된 수의 실험곤충이 제한된 시기에만 공급이 되었기 때문에, 여러 조성의 물질들에 대한 실내 생물검정을 충분한 반복수를 갖고 수행하는 데에는 어려움이 따랐으며, 이에 따라, 2019년 초반에 실내 생물검정을 마무리하고 이후에는 합성 물질들

의 행동활성 검정은 야외 트랩실험을 통해 수행하였다. 야외 트랩실험 결과에 따르면 합성물질 10 mg을 함유한 dispenser를 장착한 트랩에는 물질 종류와 관계 없이 유인력이 아주 낮거나 전혀 유인력을 보이지 않는 경우가 대부분이었는데, 실내 생물검정에서도 10 mg을 사용한 개별 물질 또는 여러 조성이 호박과실파리나 호박꽃과실파리에 아주 약한 유인력만을 보인 이유가 실험에 사용된 물질의 양이 적어서일 가능성을 배제할 수 없을 것이다. 총 52 회의 실내 생물검정 중에서 38 회의 실험에서 과실파리가 케이지 안에 놓인 원통형 트랩에 포획되어 있는 것이 발견된 것은 이들 물질이 실제로 유인력이 있을 가능성을 시사하지만, 충분한 반복 실험과 처리량을 달리한 실내생물검정 실험이 이뤄졌다면 보다 뚜렷한 유인 효과를 관찰할 수 있었을 것으로 사료된다.

## 제2절 야외 트랩실험을 통한 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 유인제 개발

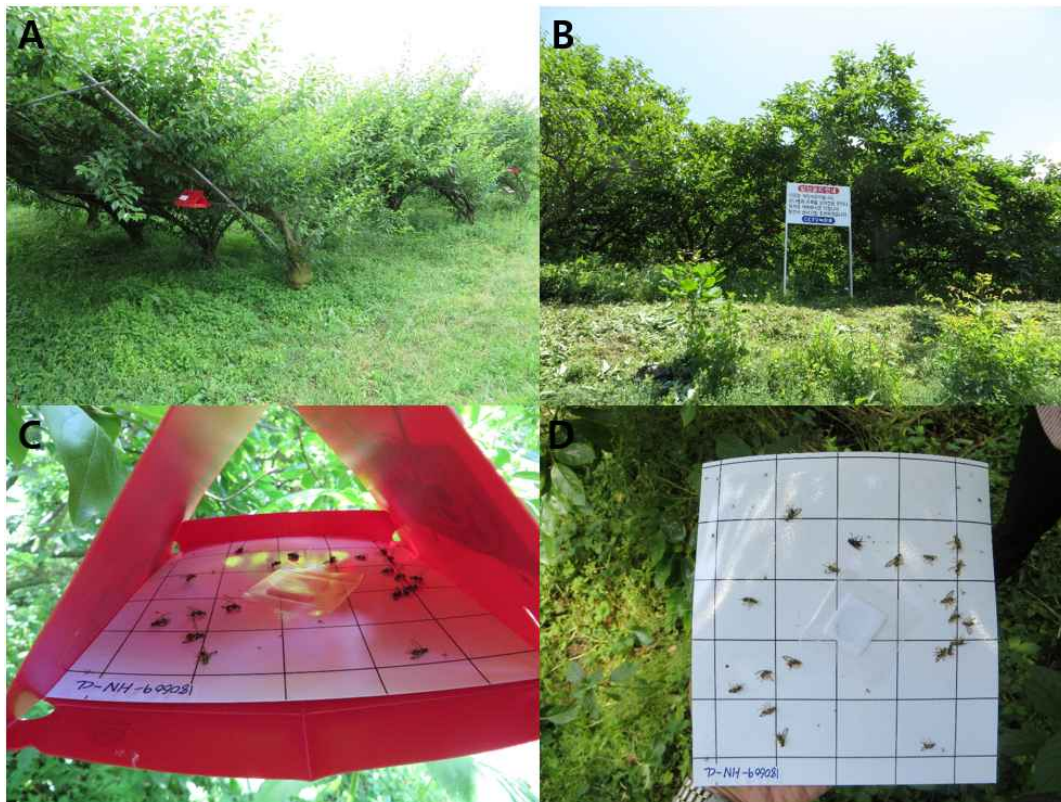
호박과실파리와 호박꽃과실파리에 EAD 및 EPD 활성을 나타내는 냄새활성물질들을 개별 또는 혼합물로 제조하여 야외에서 트랩실험을 통해 이들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 검정하였다. 또한, *Bactrocera* 속 과실파리류 수컷에 유인력을 나타내는 parapheromone 성분들의 27 가지 유사체(analog)를 합성하여 이들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력도 검정하였다. 야외 트랩 실험은 2016년부터 2019년까지 해에 따라 전국의 16 개 지점 일부 또는 전부에서 수행되었다.

### 1. 재료 및 방법

2016년과 2017년에 안동의 호박밭에서 *Bactrocera* 속 과실파리들의 parapheromone 수컷 유인제로 알려진 methyl eugenol, cue lure, raspberry ketone 및 zingerone의 호박꽃과실파리에 대한 행동 유인 활성을 델타 트랩을 이용한 야외 트랩 실험을 통해 조사하였다 (Figure 5-2). 첫 번째 야외 트랩 실험은 2016년 6월부터 9월까지 안동 인근의 호박밭(좌표 36.694244, 128.731520)에서 수행하였다. 12 개의 빨간색 델타 트랩(Greenagrotech, Gyung-san, Korea) (3 replicates × 4 treatments)에 100 mg의 cue lure 또는 raspberry ketone을 함유하거나 아무것도 함유하지 않은 솜방망이(20 × 30 mm)를 안에 함유한 폴리에틸렌 봉지 방출제(30 × 40 mm, 100 μm thick)가 부착된 끈끈이판을 장착하고 약 1.5 m 높이로 2016년 6월에 호박밭에 설치하였다. 이들 트랩에 포획된 과실파리의 수를 실험이 종료된 9월까지 일주일 간격으로 조사하였다. 두 번째 세트의 야외 트랩 실험은 해남의 감 과수원(좌표 34.444663, 126.702836)에서 2017년 7월부터 10월까지 수행하였다. 15 개의 빨간색 델타 트랩(Greenagrotech, Gyung-san, Korea) (3 replicates × 5 treatments)에 100 mg의 cue lure, raspberry ketone 또는 zingerone을 함유하거나 아무것도 함유하지 않은 솜방망이(20 × 30 mm)를 안에 함유한 폴리에틸렌 봉지 방출제(30 × 40 mm, 100 μm thick)가 부착된 끈끈이판을 장착하고 약 1.5 m 높이로 2017년 7월에 감 과수원에 설치하였다. 트랩 사이의 간격은 최소 10 m를 유지하도록 하였다. 유인제는 매 달 새 것으로 교체하였다. 식물 냄새 성분인 3-octanone은 야외 트랩 실험에는 사용하지 않았는데 이는 3-octanone이 과실파리의 유인제는 아니며 단지 우리의 전기생리 실험에서 지표 물질로 사용된 물질이기 때문이었다. 트랩에 포획된 과실파리의 개체수는 실험이 종료된 2017년 10월까지 매 2주 간격으로 조사하였다. 포획된 호박꽃과실파리의 수와 성별을 기록하였다.

**Figure 5-2.** 야외트랩실험이 수행된 화순의 자두농장(A) 및 해남의 감과수원(B). 빨간색 델타트랩에 test lure 가 함유된 dispenser가 부착된 끈끈이판을 설치하여 유인력을 조사하였으며 (C), cue lure를 호박꽃과실파리의 positive control로 사용하여 호박꽃과실파리의 존재를 확인하였다 (D).

2017년에는 해남의 주변에 작은 호박밭들이 산재한 감과수원에서 델타트랩을 사용한 야외트랩 실험을 수행하였다. 2017년 8월에서 11월에 걸쳐 수행된 이 실험에서는 2016년도의 실험에서와 마찬가지로 끈끈이를 장착한 빨간색 델타트랩과 polyethylene bag dispenser 를 사용하였으며, 100 mg 의 cue lure, raspberry ketone 및 methyl eugenol 의 유인력을 각각 조사하였고, 또한 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 통해 동정한 EAD-active



compounds 및 EPD-active compounds 의 행동 활성을 조사하였다 (Table 5-2 ~ 5-6).

**Table 5-2.** 2017년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (I). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 개별 물질들 및 혼합물의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 (V). 이들 물질은 호박과실파리의 EAD-active compounds임 (50  $\mu$ m PE bag dispenser, 10 mg each)

Compound	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2-Heptanone	10								10	0
Butyl propionate		10							10	0
<i>m</i> -Cresol			10						10	0
Methyl octanoate				10					10	0
Methyl					10				10	0
( <i>E</i> )-3-hexanoate										
Methyl hexanoate						10			10	0
3-Octanone							10		10	0
Ethyl hexanoate								10	10	0

**Table 5-3.** 2017년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (II). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 개별 물질들 및 혼합물의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 및 조성 (VI). 이들 물질은 호박꽃과실파리의 EAD-active compounds임 (50  $\mu$ m PE bag dispenser, 10 mg each)

Compound	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>m</i> -Cresol	10						10	0
Methyl octanoate		10					10	0



Butyl-2-methyl butyrate	10		10	0
2-Methoxyacetophenone		10	10	0
Methyl-o-anisate			10	0
2-Aminoacetophenone			10	10
			10	0

**Table 5-4.** 2017년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (III). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 혼합물들의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 및 조성 (VII). 이들 물질은 신선한 호박에서 발산되는 물질임 (50 µm PE bag dispenser, 10 mg each)

Compound	A	B	C	D	E	F	G
2-Propanol	10	0	10	10	10	10	0
Dimethyldisulfide	10	10	0	10	10	10	0
(Z)-3-Hexenol	10	10	10	0	10	10	0
1-Hexanol	10	10	10	10	0	10	0
Limonene	10	10	10	10	10	0	0

**Table 5-5.** 2017년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (VI). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 혼합물들의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 및 조성 (VIII). 이들 물질은 EAD-active compounds 중 박과식물들이 생산하는 냄새물질임 (50 µm PE bag dispenser, 10 mg each)

Compound	A	B	C	D	E	F	G	H
3-Methyl-1-butanol	10	0	10	10	10	10	10	0
Ethyl butyrate	10	10	0	10	10	10	10	0
1-Heptanol	10	10	10	0	10	10	10	0
Dimethyldisulfide	10	10	10	10	0	10	10	0
1-Nonanol	10	10	10	10	10	0	10	0
Geranylacetone	10	10	10	10	10	10	0	0

**Table 5-6.** 2017년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (V). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 혼합물들의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 및 조성 (IX). 이들 물질은 기주 및 비기주 식물들이 생산하는 EAD-active compounds 들임 (50 µm PE bag dispenser, 10 mg each)

Compound	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2-Pentanol	10	0	10	10	10	10	10	10	10	0
3-Methyl-1-butanol	10	10	0	10	10	10	10	10	10	0
1-Hexen-3-ol	10	10	10	0	10	10	10	10	10	0
Butyl acetate	10	10	10	10	0	10	10	10	10	0
(Z)-2-Hexen-1-ol	10	10	10	10	10	0	10	10	10	0
Butyl propionate	10	10	10	10	10	10	0	10	10	0
Methyl	10	10	10	10	10	10	10	0	10	0
(E)-3-hexenoate										
Dimethyldisulfide	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0

2018년에는 5월부터 10월까지 전라도 지역 5 곳을 선정하여 야외 트랩시험을 수행하였다. 이들 다섯 시험포장은 담양의 과수원 두 곳 (매실 및 단감 과수원), 화순의 자두 농장, 나주의 플럼코트 과수원 및 해남의 감과수원이며, 이들 시험포장 주변에는 크고 작은 작은 호박밭들이 산재해 있었다. 2016년 및 2017년의 야외 트랩시험에서와 마찬가지로, 2018년도도 실험에서도 끈끈이판을 장착한 빨간색 델타트랩과 100 mil 두께의 polyethylene(PE) bag dispenser(2 × 2 cm 크기)를 사용하였으며, 100 mg 의 cue lure을 호박꽃과실파리에 대한 positive control lure로 사용하였고, 표준 양의 단백질먹이를 장착한 맥페일트랩을 호박과실파리의 positive control lure로 사용하였다. 트랩시험에서는 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 통해 동정한 EAD-active compounds 및 EPD-active compounds들을 개별 또는 조합하여 이들의 행동 활성을 조사하였다 (Table 5-7 ~ 5-9). 또한, Cue lure 및 methyl eugenol과 유사한 화학구조를 갖는 27 가지의 유사체(analog)들을 합성하여 이들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력도 검정하였다 (Table 5-10). 이들 유사체는 분자량 129 ~ 237의 물질들로, 스웨덴 Linnaeus University의 Rikard Unelius 교수로부터 공급을 받아 실험에 사용하였으며, 각 유사체 10 mg을 PE(폴리에틸렌) bag dispenser로 준비하여 이들의 유인력을 조사하였다. 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 EAD 활성 또는 EPD 활성을 나타낸 49 가지 개별 물질 (Table 3-4)을 각각 100 mg씩 felt(2 cm × 2 cm)에 처리하고 이를 50 μm 두께의 폴리에틸렌 (PE) 봉지(3 cm × 3 cm)에 넣어 밀봉하고 이를 디스펜서로 하여 이들 각각에 대한 유인력을 조사하였다. 또한, 호박과실파리에 EAD 활성을 나타낸 물질, 호박꽃과실파리에 EAD 활성을 나타낸 물질, 신선한 호박에서 발산되는 냄새물질, 호박과실파리에 대한 EAD 활성물질들 중 박과식물에서 발산되는 것으로 알려진 물질 및 기주/비기주 식물들에서 발산되는 EAD 활성물질 등 (Table 5-7 ~ 5-9)을 여러가지 조합으로 만들어 각각을 cotton wick dispenser 또는 PE(폴리에틸렌) bag dispenser로 준비하여 이들에 대한 유인력을 조사하였다.

**Table 5-7.** 2018년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (I). 강한 EAD 및 EPD 활성을 나타낸 냄새활성물질들을 기반으로 한 트랩실험 조성 (1). 각 수치는 루어 하나에 함유된 각 물질의 양을 나타냄 (mg).

Compound	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9
2-Heptanone	10							10	0
Butyl propionate		10						10	0
<i>m</i> -Cresol			10					10	0
Methyl octanoate				10				10	0
Methyl ( <i>E</i> )-3-hexanoate					10			10	0
3-Octanone						10		10	0
Ethyl hexanoate							10	10	0

**Table 5-8.** 2018년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (II). 강한 EAD 및 EPD 활성을 나타낸 냄새활성물질들을 기반으로 한 트랩실험 조성 (2). 각 수치는 루어 하나에 함유된 각물질의 양을 나타냄 (mg).

Compound	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
<i>m</i> -Cresol	10			10	0
Methyl octanoate		10		10	0
Butyl-2-methyl butyrate			10	10	0

**Table 5-9.** 2018년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (III). 강한 EAD 및 EPD 활성을 나타낸 냄새활성물질들을 기반으로 한 트랩실험 조성 (3). 각 수치는 루어 하나에 함유된 각물질의 양을 나타냄 (mg).

Compound	C	D	E	F	G
Butyl acetate			10		0
Butyl propionate			10		0
Dimethyldisulfide	10				0
Dimethyltrisulfide		10	10		0
Ethyl butyrate		10			0
2-Ethylhexanal				10	0
1-Heptanol		10			0
3-Hexanol	10			10	0
1-Hexen-3-ol			10		0
( <i>Z</i> )-2-Hexen-1-ol			10		0
( <i>Z</i> )-3-Hexenol	10				0
3-Methyl-1-butanol		10	10		0
Methyl ( <i>E</i> )-3-hexenoate			10		0
1-Nonanol				10	0
Nonenal				10	0
1-Octen-3-ol				10	0
2-Pentanol			10		0
2-Propanol	10				0

**Table 5-10.** 2018년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (IV). 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 트랩실험에 사용된 알려진 과실파리 parapheromone 유인제의 27 가지 합성 유사체 (synthetic analogs)들 (kindly supplied by Prof. Rikard Unelius at Linnaeus University, Sweden).

Sample number	Code	MW	Quantity
1	Uv-18-F2	212.32	20 mg
2	OL001A	192.25	10 mg
3	OL002A	222.28	10 mg
4	UV-43-FP	228.32	20 mg
5	UV-33-F2	156.26	20 mg
6	UV-41-F1	198.30	20 mg
7	UV-45-F1	220.30	10 mg
8	UV-46-F1	206.28	20 mg
9	UV-63-F1	234.33	20 mg
10	UV-68-F2	226.35	15 mg
11	UV-64-F2	240.38	20 mg
12	UV-17	212	20 mg
13	UV-8-YZ	143	20 mg
14	UV-22	157	20 mg
15	UV-35L	129	20 mg
16	SG-245A	168	20 mg
17	SG-256A	182	20 mg
18	SG-246A	196	20 mg
19	SG-258A	198	20 mg
20	SG-257A	210	20 mg
21	SG-263A	195	20 mg
22	SG-264A	195	20 mg
23	SG-259A	223	20 mg
24	SG-260A	209	20 mg
25	SG-261A	209	20 mg
26	SG-262A	223	10 mg
27	SG-250A	237	20 mg

2019년에는 5월부터 11월까지 전국에서 야외 트랩실험을 수행하였다. 5-6월에 걸쳐 전국 16개 지점(Figure 5-3, Table 5-11)을 정하여, 우선 이들 각 지역에 각각 2~3개의 McPhail trap을 설치하고 각 지역에서 이들 트랩에 포획되는 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 수를 계속 조사하고, 과실파리들이 상대적으로 많이 포획되는 지점들을 선택하여 이들 시험포장에서 집중적으로 야외 트랩실험을 수행하였다. 결과적으로, 제주 두 곳(JJ1 및 JJ2), 해남(HN), 고창(GC) 및 서산(SS)에서 트랩실험을 집중적으로 수행하게 되었다. 지난 몇 년 동안의 트랩실험에서와 마찬가지로, 2019년도에 야외 트랩실험에서도 빨간색 델타트랩을 사용하였으며, 트랩에 흰 색 끈끈이판을

장착하여 유인된 과실파리가 포획되도록 하였고, 끈끈이판 중앙에는 50  $\mu\text{m}$  또는 100  $\mu\text{m}$  두께의 polyethylene(PE) bag dispenser(2 × 2 cm 크기) 또는 1.5 cm 길이의 cotton wick dispenser를 부착시켜 사용하였으며, 각 dispenser에는 적정량의 시험물질을 처리하여 이들에 대한 유인력을 검정할 수 있도록 하였다. 시험 물질은 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 EAD 및 EPD 활성을 나타낸 물질들을 2017년과 2018년에 비해 양을 증가시켜 이들에 대한 유인력을 조사하였다 (Table 5-12 ~ 5-15). 유인제가 장착된 트랩은 지표에서 1.5 m 정도의 높이가 되도록 나뭇가지에 매달아두었고, 수 일 또는 일주일 정도 후에 끈끈이를 수거하여 포획된 과실파리 및 다른 파리류 곤충들의 수를 조사하였다. 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 구분과 이들의 암, 수컷 구분은 해부현미경 하에서 관찰하면서 이뤄졌고, 필요시 끈끈이에 포획된 곤충들의 사진을 촬영하여 추가로 조사, 확인을 하였다. 100 mg 의 cue lure(CL)를 호박꽃과실파리에 대한 positive control lure로 사용하였고, 표준 양(약 20 g)의 gel type단백질먹이(Bio-Trap Australia Pty Ltd)를 장착한 맥페일트랩을 호박과실파리의 positive control lure로 사용하였으며, 유인 성분을 함유하지 않은 솜방망이 또는 PE bag을 대조구(negative control)로 사용하였다. 트랩시험 포장에 이들 트랩을 설치하고 시험기간 동안 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 발생 상황을 지속적으로 모니터링 하였다. 호주의 회사로부터 구입하여 사용한 단백질먹이의 조성은 hydrolyzed proteins (96%), xanthan gum (food grade) (2%) 및 ammonium hydroxide (1.5%) 이며 성상은 젤 타입이고 물에 잘 녹는 수용성이었다.

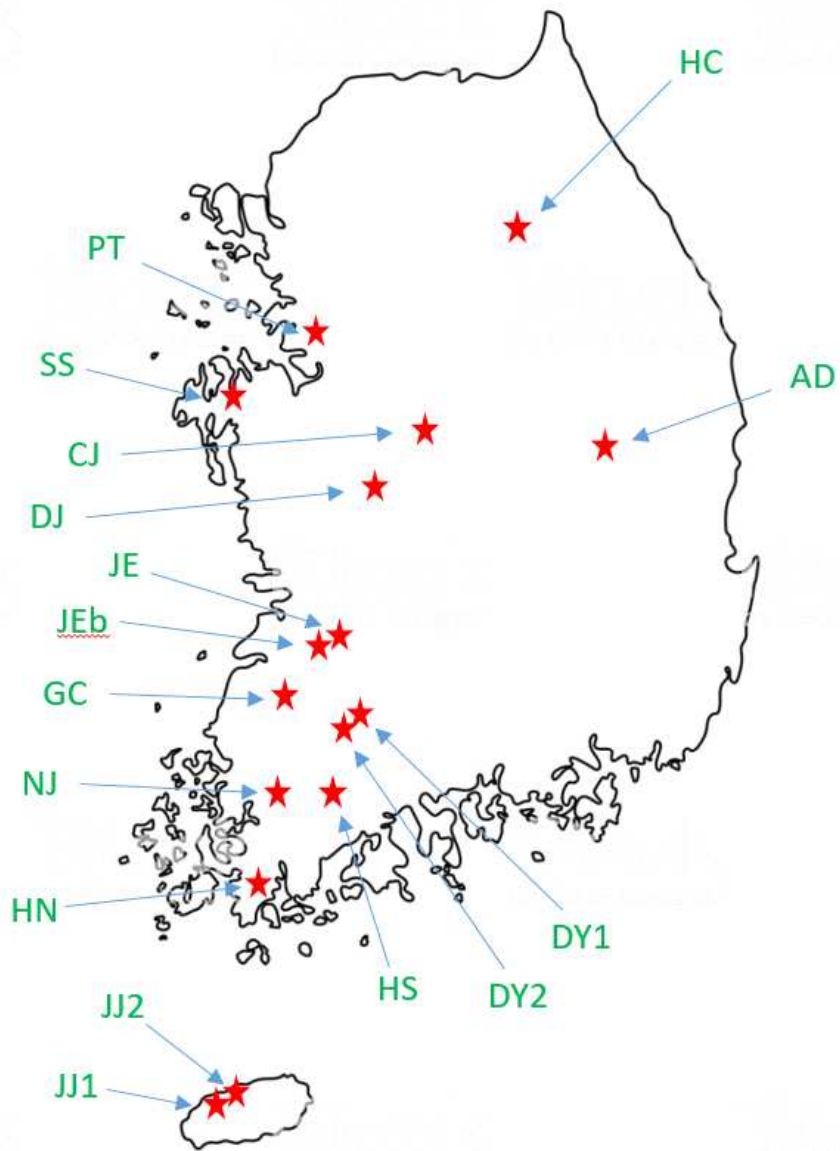


Figure 5-3. 2019년에 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 합성 물질들의 유인력을 측정 한 16개 트랩 실험 장소들. 장소별 코드 등 상세한 정보는 표 5-2를 참조.

**Table 5-11.** 2019년에 합성물질들의 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력을 측정하기 위해 야외 트랩실험을 트랩시험을 수행한 16개 지점과 이들에 대한 상세 정보(코드, 지역/도시명, 주소 및 작물)

코드	도시/지역명	주소	주요 작물
AD	안동	북후면 서삼거인길	호박
JJ1	제주	영주고등학교 인근 월평 10길	하늘타리
JJ2	제주	애월읍 신엄리	호박
SS	서산	서산시 인지면 화수리	호박
GC	고창	고창군 북분자로 고창농업창업센타 내	호박
PT	평택	평택시 팽성우체국 인근 (주)홍익바이오 시험포장	호박
CJ	청주	청주시 청원구 내수읍 은곡리	호박 등 여러가지
HN	해남	해남군 북일면 방산리	단감
DY1	담양	담양군 시목마을 인근	매실
DY2	담양	담양군 대덕면 금산리	단감
NJ	나주	나주시 금영로	플럼코트
HS	화순	화순군 한천면 참새미자두농장	자두
HC	홍천	홍천군 내촌면 물걸리	호박
DJ	대전	대전시 유성구 안금로	호박
JE	정읍	정읍시 생명공학연구원 정읍캠퍼스 인 근	여러가지
JEb	정읍	정읍시 입암면	블루베리

**Table 5-12.** 2019년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (I). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 개별 물질들의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 (I) (100 µm PE bag dispenser, 100 mg each)

Code	Compound	Activity
2ACF	2-acetylfuran	
2AMA	2-Aminoacetophenone	
2HPT	2-Heptanone	EPD-active
2MAP	2-Methylacetophenone	
3M1B	3-Methyl-1-butanol	
3OCT	3-Octanone	EPD-active
BTA	Butyl acetate	
BTP	Butyl propionate	EPD-active
BZA	Benzyl acetate	
DMDS	Dimethyldisulfide	
EBZ	Ethyl benzoate	
ETH	Ethyl hexanoate	EPD-active
ISP	Isophorone	
MCR	<i>m</i> -Cresol	EPD-active
MOA	Methyl- <i>o</i> -anisate	
MOT	Methyl octanoate	EPD-active
MT3H	Methyl-E3-hexenoate	EPD-active

**Table 5-13.** 2019년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (II). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 개별 물질들의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 (II) (100 µm PE bag dispenser, 100 mg each)

Code	Compound	Activity
AAT	Ammonium acetate	
ACT	Acetoin	
DCN	2-Decanone	
EHP	Ethyl heptanoate	EAD-active
ETN	Ethyl nicotinate	
FFA	Furfuryl alcohol	
FFL	Furfural	
GRA	Geranyl acetone	EAD-active
IAA	Isoamyl acetate	EAD-active
MTH	Methyl hexanoate	EAD-active
NNL	1-Nonanol	EAD-active
OLT	γ-Octalactone	
OTL	1-Octen-3-ol	EAD-active
PHP	2-Phenyl-2-propanol	EAD-active

**Table 5-14.** 2019년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (III). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 개별 물질들의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 (III) (50 µm PE bag dispenser, 100 mg each)

Code	Compound	Activity
ACP	Acetophenone	
ADB	4-Allyl-1,2-dimethoxybenzene	
BPN	Butyrophenone	
DMP	2,6-Dimethoxyphenol	
EGN	Eugenol	
IVA	Isovanillyl alcohol	
MAP	2'-Methylacetophenone	
MBA	4-Methoxybenzyl alcohol	
PAA	Phenylacetaldehyde	
PBA	4-Phenyl-2-butanone	
PDA	Phenylacetaldehyde dimethyl acetal	
TCA	Trans-cinnamaldehyde	



**Table 5-15.** 2019년의 야외 트랩실험에서 호박과실파리(*Bactrocera depressa*) 및 호박꽃과실파리(*B. scutellata*)에 대한 유인력이 조사된 시험 물질들의 조성 (VI). 야외 트랩실험을 통해 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 대한 개별 물질들의 유인력을 측정하기 위해 사용된 합성 물질들 (IV) (cotton wick dispenser, 100 mg each)

Code	Compound	Activity
MH	Methyl ( <i>E</i> )-3-hexenoate	
MB	Methyl benzoate	
ON	3-Octanone	
HP	2-Heptanone	
BP	Butyl propionate	
Mix	Mix of above five	
C	Control (cotton wick only)	

## 2. 야외 트랩실험 결과

### 가. 2016년 야외 트랩실험 결과

2016년에 안동의 호박밭에서 수행한 야외 트랩실험에서는 끈끈이판을 내부에 부착한 빨간색 델타트랩과 polyethylene bag 형태의 dispenser를 사용하였고, cue lure, reaspberry ketone 또는 methyl eugenol을 500 mg 씩 함유한 dispenser를 제작하여 이들 물질 각각에 대한 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 야외에서의 유인력을 조사하였는데, 이 실험에서, 500 mg의 유인제를 넣은 polyethylene bag dispenser에 호박꽃과실파리가 다수 유인, 포획되어 빨간색 델타트랩이 호박꽃과실파리의 유인력을 검정하기 위한 트랩으로 사용될 수 있음을 보여주었으며, 이는 우리가 호주와 뉴칼레도니아에서 퀸즐랜드과실파리(*B. tryoni*)의 유인제 개발을 위한 야외 트랩 실험에 델타트랩을 효율적으로 사용하고 있는 것과 맥락을 같이 하여, 호박과실파리의 유인제 개발을 위한 이 이후의 야외 트랩실험에 빨간색 델타트랩을 계속 사용하였다.

### 나. 2017년 야외 트랩 실험 결과

2016년에 이어 2017년에 안동의 호박밭에서 수행된 *Bactrocera* 속 과실파리들의 parpheromone 성분의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 조사하기 위한 야외 트랩실험에서는 cue lure, reaspberry ketone, zingerone 또는 methyl eugenol을 100 mg씩 함유한 dispenser를 제조하여 이들의 유인력을 알아보았다. 그 결과, 호박꽃과실파리 수컷이 네 가지 시험 물질들 중에서 cue lure와 raspberry ketone에 유인된다는 것이 다시 확인되었다. 2016년과 2017년 모두, cue lure를 함유한 트랩들이 raspberry ketone을 함유한 트랩들보다 유의하게 많은 호박꽃과실파리 수컷을 포획하였다. 이와는 반대로, methyl eugenol이나 zingerone을 함유한 트랩들은 호박꽃과실파리에 대한 유인력이 전혀 없었다.

2017년에는 또한 해남의 주변에 작은 호박밭들이 산재한 감과수원에서 델타트랩을 사용한 야외 트랩실험을 수행하였다. 2017년 8월에서 11월에 걸쳐 수행된 이 실험에서는 끈끈이를 장착한 빨간색 델타트랩과 polyethylene bag dispenser 를 사용하였으며, 100 mg 의 cue lure, raspberry ketone 및 methyl eugenol 의 유인력을 각각 조사하였고, 또한 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 통해 동정한 EAD-active compounds 및 EPD-active compounds 의 행동 활성을 조사하기 시작하였다. 2016년도의 500 mg 을 사용한 안동에서의 트랩실험에서와 마찬가지로 cue lure 에 다수의 호박꽃과실파리가 포획되었고 포획

된 개체들은 모두 호박꽃과실파리 수컷으로 판명되었다. Cue lure 에는 호박과실파리는 전혀 포획되지 않았으며, raspberry ketone 과 methyl eugenol 에는 호박과실파리나 호박꽃과실파리 모두 포획되지 않았다. 이 실험결과는 cue lure가 호박꽃과실파리의 수컷유인제로 사용될 수 있음을 재확인해 주었고, 빨간색 델타트랩이 각종 합성물질의 과실파리들에 대한 유인력 검정에 사용될 수 있음을 보여주었다. 또한, 실험에 사용된 100 mg 을 합성물질을 함유한 polyethylene bag dispenser 가 8월에서 11월에 걸쳐 지속적으로 유인력을 나타냄으로써 우리나라의 야외환경에서 polyethylene bag 형태의 dispenser 가 야외에서 적어도 석 달 이상 지속적으로 사용될 수 있음을 보여주었다. 또한, 호박꽃과실파리는 기주식물과 어느 정도 떨어진 곳에 설치된 유인제에도 잘 유인, 포획되는 것을 나타내어, 호박꽃과실파리의 일일비행반경이 작지 않거나 이들이 기주식물의 인접 지역 외의 지역에도 널리 서식할 수 있다는 것을 암시하였다. 하지만, 이 야외 트랩실험에서 사용된 EAD-active compounds 에는 호박과실파리나 호박꽃과실파리가 전혀 유인되지 않았는데 이것은 polyethylene bag 또는 솜방망이 dispenser에 사용한 시험 물질의 양이 유인력을 나타내기에 충분하지 않아서일 가능성이 큰 것으로 판단되었다.

#### 다. 2018년 야외 트랩 실험 결과

호박과실파리와 호박꽃과실파리에 EAD 및 EPD 활성을 나타내는 냄새활성물질들을 개별 또는 혼합물로 제조하여 야외에서 트랩실험을 통해 이들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 검정하였다. 또한, *Bactrocera* 속 과실파리류 수컷에 유인력을 나타내는 parafferomone 성분들의 27 가지 유사체(analog)를 합성하여 이들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력도 검정하였다. 담양 (두 곳), 화순, 나주 및 해남의 총 다섯 군데의 시험포장에서 5월부터 10월까지 시행한 2018년도의 트랩실험에서, 트랩실험에 사용된 43 가지의 개별 물질 또는 혼합물 중 어느 것도 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리에 지속적으로 유인력을 나타내는 것은 확인되지 않았다. 16 가지의 개별 또는 혼합된 EAD-active 및 EPD-active compounds들과 27 가지의 과실파리 유인제 유사체(analog)들을 델타트랩에 장착하였을 때 호박과실파리나 호박꽃과실파리에 대한 유인력은 나타나지 않았다. 호박꽃과실파리의 경우, positive control로 사용한 cue lure를 장착한 트랩에는 같은 기간에 각 시험포장에서 많은 수의 호박꽃과실파리 수컷이 포획된 것으로 보아, 시험에 사용된 43 가지의 조성은 호박꽃과실파리에 대한 유인력이 없는 것으로 판단된다. 하지만, 호박과실파리의 경우 시험기간 동안 positive control로 사용한 단백질먹이 트랩에도 호박과실파리가 거의 포획되지 않아서, 트랩시험이 수행된 다섯 곳의 시험포장 어느 곳에서도 충분한 수의 호박과실파리가 있었는지가 불분명하며, 호박과실파리의 성충이 이 지역에서는 아주 짧은 특정 기간 동안에만 나타났을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서, 이번 트랩실험에 사용된 43 가지 조성의 물질들이 호박과실파리에 대해 유인력이 있는지는 불분명한 것으로 판단되었다.

100 mg 수준에서의 유인력을 시험한 개별 물질들과는 달리, 각 성분들을 각각 10 mg 함유하도록 여러 조합으로 만들어 유인력을 시험한 야외 트랩실험에서는 시험에 사용한 여러가지 물질들 중 어느 것에서도 호박과실파리나 호박꽃과실파리가 포획되지 않았다. 이와 마찬가지로, cue lure나 methyl eugenol과 비슷한 화학구조를 갖는 27 가지의 과실파리 유인제 유사체(analog)들도 10 mg 수준에서 호박과실파리나 호박꽃과실파리에 대한 유인력은 전혀 나타나지 않았다. 따라서, 이들 물질은 10 mg의 양으로는 호박꽃과실파리에 대해서 유인력이 거의 없다고 결론을 내릴 수 있는데 이것은 이들을 설치하여 트랩실험을 수행한 기간 동안에 cue lure 나 단백질먹이를 장착한 트랩 또는 100 mg을 함유한 트랩들에는 많은 호박꽃과실파리가 포획되었기 때문에

이 기간 동안 트랩 실험을 수행한 지역에 충분한 수의 호박꽃과실파리가 존재한다는 것이 분명하기 때문이다. 하지만, 호박과실파리의 경우 시험기간 동안 16 곳의 모든 시험포장에서 positive control로 사용한 단백질막이 트랩에도 호박과실파리가 거의 포획되지 않아서, 트랩시험이 수행된 이들 시험포장 어느 곳에서도 충분한 수의 호박과실파리가 있었는지 아니면 어느 정도의 호박과실파리가 같은 시기에 존재했는지가 불분명했으며, 호박과실파리의 성충이 이 지역에서는 아주 짧은 특정 기간 동안에만 출현했을 가능성도 배제할 수 없다. 따라서, 비록 포획된 호박과실파리의 수는 적지만 100 mg 수준에서 개별 물질로 호박과실파리에 유인력을 나타낸 3 가지 물질들(BTA, DMDS 및 DMP)의 유인력이 어느 정도 강한지 또는 약한지에 대한 결론을 내릴 수 있는 증거는 확보되지 않았다. 특히, 가장 강한 유인력을 보여준 BTA(butyl acetate)의 호박과실파리에 대한 유인력을 정밀하게 조사할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

#### 라. 2019년 야외 트랩 실험 결과

2018년에 이어 2019년에도 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 EAD 및 EPD 활성을 나타내는 냄새활성물질들 및 이들의 기주식물에서 발산되는 냄새물질 등을 개별 또는 혼합물로 제조하였고, 야외에서 트랩실험을 통해 이들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 계속 검정하여 이들에 대해 행동 유인활성을 나타내는 합성 냄새물질들을 최초로 동정할 수 있었다. 2018년에 전라남도 지역에서 집중적으로 수행한 야외 트랩실험에서는 시험기간 동안 positive control로 사용한 단백질막이 트랩에도 호박과실파리가 거의 포획되지 않아서, 트랩시험이 수행된 다섯 곳의 시험포장 어느 곳에서도 충분한 수의 호박과실파리가 트랩실험 기간 동안 존재하고 있었는지가 불분명하였고, 호박과실파리의 성충이 이 지역에서는 아주 짧은 특정 기간 동안에만 나타났을 가능성도 배제할 수 없었으며, 트랩실험에 사용된 43 가지 조성의 물질들이 호박과실파리에 대해 유인력이 있는지를 판단할 충분한 결과가 확보되지 않았다. 따라서, 2019년의 트랩실험에서는 먼저 보다 광범위한 지역에 단백질막이 유인제로 한 McPhail trap을 설치하고 이들 중 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리가 포획된 지역을 중심으로 트랩실험을 집중적으로 실시하였다. 그러나, 2019년에도 단백질막이 트랩에 지역과 시기에 따라 많은 수의 호박꽃과실파리가 포획된 반면에 호박과실파리는 아주 적은 수만 포획되어 호박과실파리의 실험포장에의 존재 밀도가 어느 정도 되는지 파악하는 것은 쉽지 않았다. 이런 어려움에도 불구하고, 집중적으로 수행된 2019년의 야외트랩실험을 통해서 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 뚜렷한 유인력을 나타내는 합성 냄새물질을 발견할 수 있었다. 더욱이, 이들 물질이 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 암컷에 대해서도 유인력이 있는 것으로 나타났다. 2019년의 야외 트랩실험을 통해 발견된 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대해 유인력을 나타내는 합성 냄새물질들은 식물에서 발산되는 천연물로 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리의 안테나나 작은턱수염에 냄새활성을 보이는 물질들이다. 2018년에 이어 2019년에도, *Bactrocera* 속 과실파리류 수컷에 유인력을 나타내는 parpheromone 성분들의 27 가지 유사체(analog)를 합성하여 이들의 호박과실파리 및 호박꽃과실파리에 대한 유인력도 검정하였으나, 2018년과 마찬가지로 이들 합성물질들 중 어느 것도 호박과실파리 또는 호박꽃과실파리에 유인력을 나타내지 않았다.

2019년에 수행한 야외 트랩실험 결과, 100 mg 양을 처리하여 디스펜서로 만들어 개별 물질들의 야외에서의 유인력을 시험한 49 가지 개별 물질들 중에서 7 가지 물질이 호박꽃과실파리에 유인력을 나타냈고 (Figure 5-4), 3 가지 물질이 호박과실파리에 유인력을 나타냈으며 (Figure 5-5), 20여 가지의 물질들이 여러가지 파리류에 유인력을 보여주었다. 대조구 트랩(negative control)에는 호박과실파리나 호박꽃과실파리는 전혀 포획되지 않았으며, positive control로 사용한

cue lure에는 총 3,165 마리 (평균 58.61 마리, N = 54)의 호박꽃과실파리가 포획되었는데 포획된 개체들은 모두 수컷이었으며, cue lure에는 호박과실파리는 전혀 포획되지 않았다. 100 mg 수준에서 호박꽃과실파리에 유인력을 나타낸 7 가지 물질들은 ACP, ADD, BTA, DMDS, DMP, MBA 및 MH 였으며, 이 중에서 BTA가 가장 강한 유인력을 나타내어 트랩당 평균 8.33 마리가 포획되었고, 이 중 30% 정도는 암컷으로 확인되었다 (Figure 5-4). 그리고, 3 가지 물질들 (ADD, DMDS 및 DMP)에는 각각 트랩당 평균 1.33 마리, 1.38 마리 및 0.83 마리의 호박꽃과실파리가 포획되었고 이들 중 간헐적으로 암컷이 포함되어 있었다 (Figure 5-4). 100 mg 수준에서 호박과실파리에 유인력을 나타낸 3 가지 물질들은 BTA, DMDS 및 DMP 였으며, 이 중에서 BTA가 가장 강한 유인력을 나타내어 트랩당 평균 4.00 마리의 호박과실파리가 포획되었고, 이 중 25%는 암컷으로 확인되었다 (Figure 5-5). 그리고, 2 가지 물질들(DMDS 및 DMP)에는 각각 트랩당 평균 0.23 마리 및 0.17 마리의 호박과실파리가 포획되었고 암컷의 포획 여부는 확인할 수 없었다 (Figure 5-5). 100 mg 수준에서 여러가지 파리류에 유인력을 나타낸 20여 가지 물질들 중에서 3 가지 물질들(ACT, BTA 및 FFL)이 일반 파리류에 강한 유인력을 나타내어 각각 트랩당 평균 78.5 마리, 159.3 마리 및 52.5 마리가 포획되었다 (Figure 5-6). 트랩에 포획된 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 종 구분이 어렵거나 불확실한 경우가 많았는데, 이들을 형태적 관찰로 다른 파리류와 구분하는 것 몸의 형태와 무늬 및 색깔 등을 이용해서 비교적 어렵지 않게 할 수 있었던 반면에, 호박과실파리와 호박꽃과실파리 사이의 구분이 몸 일부의 유실, 변색, 부패 또는 끈끈이판에 부착된 몸체의 위치 때문에 불가능한 경우가 많았으며, 따라서 본 연구 결과에서 제시하는 종 구분과 관련한 수치에는 어느 정도의 오차가 있을 가능성이 크다. 이와 마찬가지로, 과실파리의 암, 수컷 구분도 복부의 부패 또는 끝 부분의 유실로 불가능한 경우가 다수 있었다. 본 연구에서는 암컷의 포획 여부가 중요했기 때문에 암, 수컷 구분이 어려운 경우에는 모두 수컷으로 간주하였다.

유인력이 시험된 테스트 물질들에 대해 트랩 실험을 수행한 16 곳 중 11 곳에서 호박꽃과실파리가 포획되었고 (Figure 5-7 A), 3 곳에서 호박과실파리가 포획되었으며 (Figure 5-7 B), 이들 11 곳 모두에서 일반 파리류들도 포획되었다 (Figure 5-7 C). 호박꽃과실파리가 포획된 11 곳 중에서 해남(HN)에서 가장 많은 수의 호박꽃과실파리가 포획되어 2019년 트랩실험 기간(5월-11월) 동안 총 2,223 마리의 호박꽃과실파리가 포획되었으며, 정읍(JE), 나주(NJ) 및 제주(JJ)에서는 각각 총 326 마리, 321 마리 및 131 마리의 호박꽃과실파리가 이 기간 동안 포획되었다 (Figure 5-7). 호박과실파리가 포획된 3 곳은 제주(JJ), 해남(HN) 및 서산(SS)으로, 2019년 트랩 실험 기간(5월-11월) 동안 각각 총 15 마리, 9 마리 및 1 마리의 호박과실파리가 포획되었다 (Figure 5-7). 일반 파리류는 3 곳에서 특히 많이 포획되어 해남(HN), 제주(JJ) 및 서산(SS)에서 2019년 트랩실험 기간(5월-11월) 동안 각각 총 2,519 마리, 1,073 마리 및 987 마리가 포획되었다 (Figure 5-7).

2019년의 야외 트랩실험을 통해 몇 가지의 합성 냄새물질이 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 유인력을 보이는 것을 확인하였다. 그러나, 이 실험에서는 호박과실파리와 호박꽃과실파리에 큰 행동활성을 나타낼 가능성이 있는 중요한 두 가지 후보 물질들은 시험할 수 없었는데, 이들에 대한 시험을 차후에 할 필요가 있을 것으로 사료된다. 이들 두 가지 물질들은 호박이나 단호박, 또는 하늘타리 등의 호박과실파리와 호박꽃과실파리의 선호기주들에서 공통적으로 발산되는 냄새물질로, 우리가 2017-2018년에 수행한 GC-EAD 및 GC-EPD 실험에서 이들 두 종의 과실파리 antennae와 작은턱수염에 큰 냄새활성을 보인 물질들이다 (Figure 5-8). 호박 추출물을 사용한



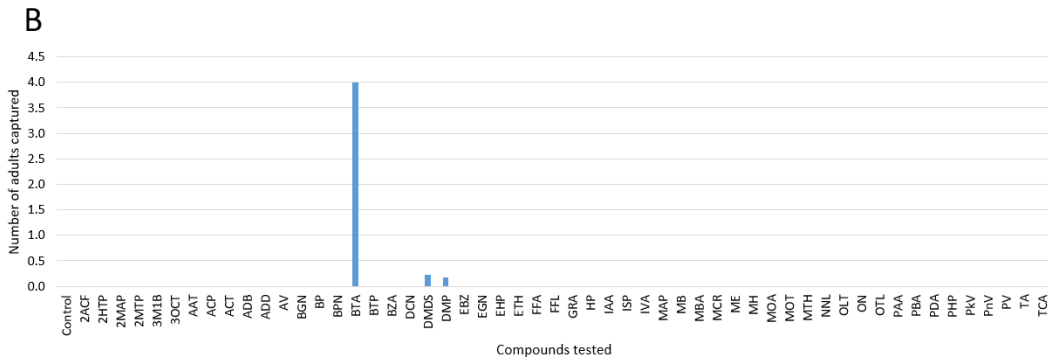


Figure 5-5. 야외 트랩실험에서 각 합성 냄새 물질에 유인, 포획된 호박과실파리 (*Bactrocera depressa*) 성충의 총 수 (A) 및 트랩 하나당 평균 포획 수 (B). 세로축은 포획된 성충의 마리수를 나타내며, 이 결과는 13개 지역에서 수행된 트랩실험의 결과를 종합한 것임. 물질들 약어 표기는 표 2-2 ~표 2-5 참고.

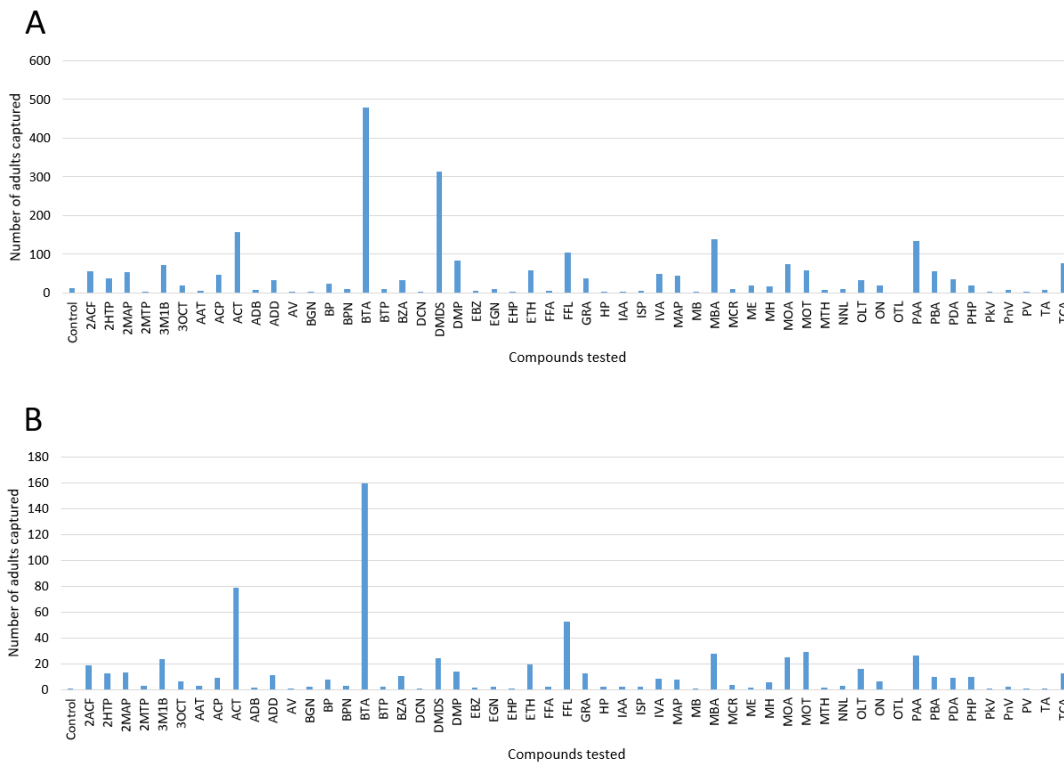
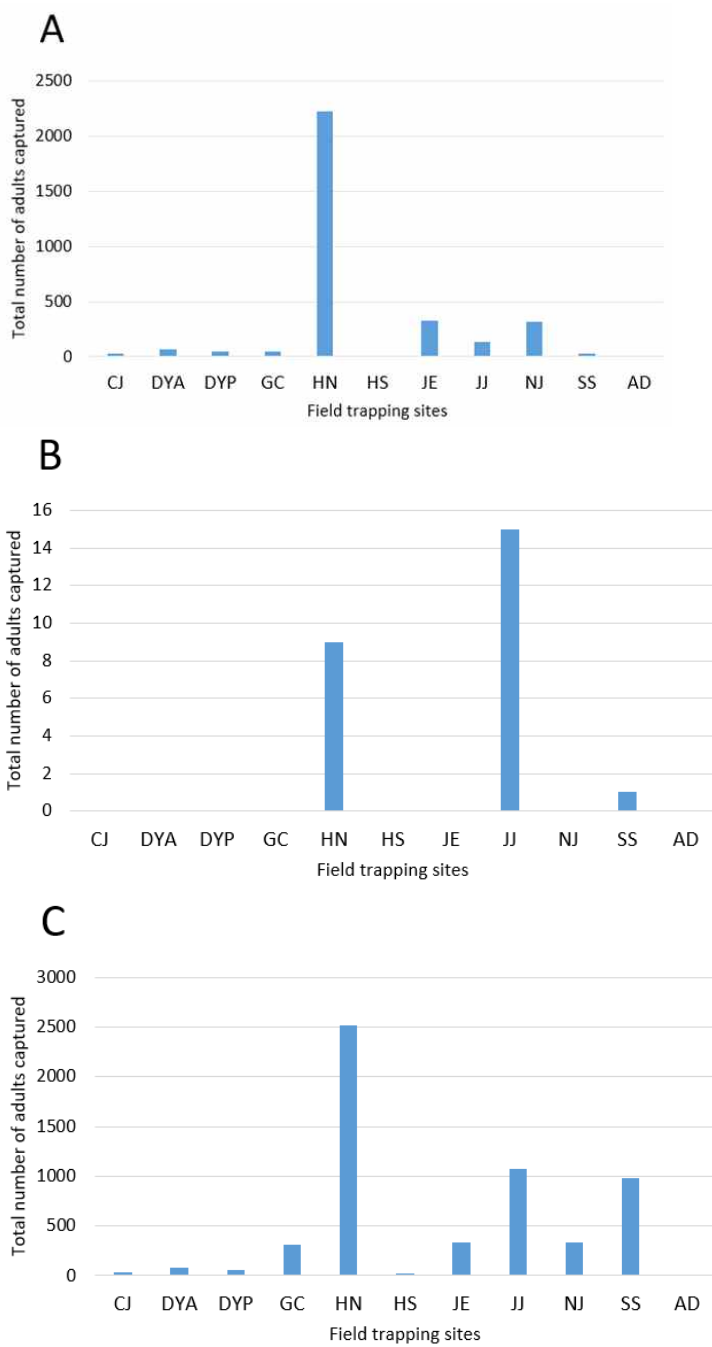
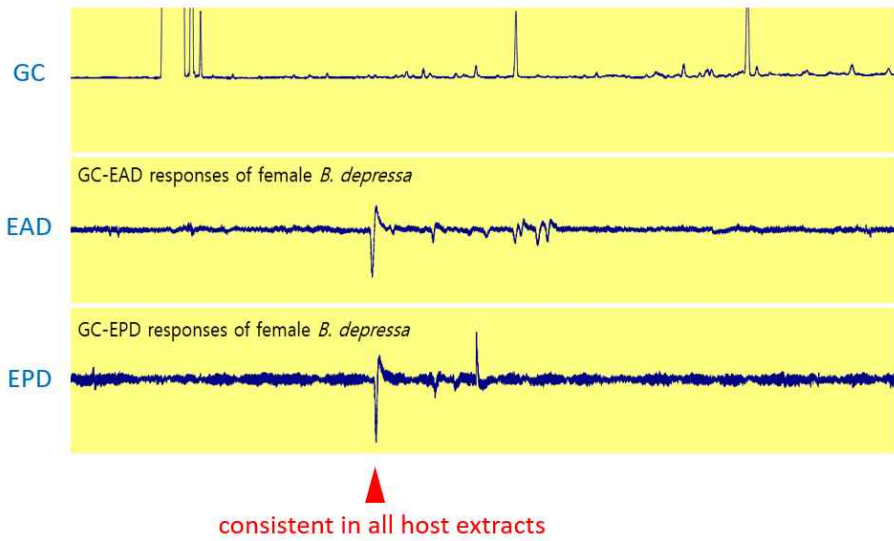


Figure 5-6. 야외 트랩실험에서 각 합성 냄새 물질에 유인, 포획된 파리류 성충들의 총 수 (A) 및 트랩 하나당 평균 포획 수 (B). 세로축은 포획된 성충의 마리수를 나타내며, 이 결과는 13개 지역에서 수행된 트랩실험의 결과를 종합한 것임. 물질들 약어 표기는 표 2-2 ~표 2-5 참고.



**Figure 5-7.** 야외 트랩실험을 수행한 각 장소(trapping site)에서 시험된 합성 냄새 물질들에 유인, 포획된 호박꽃과실파리 (*Bactrocera scutellata*) (A), 호박과실파리 (*Bactrocera depressa*) (B) 및 전체 파리류 (C) 성충의 총 수. 세로축은 포획된 성충의 총 마리수를 나타냄. 지역별 약어는 표 2-1 참고.



**Figure 5-8.** 호박과실파리(*Bactrocera depressa*)의 안테나 및 작은턱수염에 강한 냄새활성을 나타내는 호박 추출물에 함유된 GC-EAD 및 GC-EPD active compounds.



## 제19장 검역대상 과실파리의 유인제를 사용한 모니터링

우리는 본 과제를 수행하면서 우리나라 환경에서 유인제와 트랩을 사용한 과실파리의 모니터링 방법을 검토하였고, 검역관련 금지급 과실파리들의 대상 종들을 재정리하면서 각 종에 대한 모니터링 방법을 별도로 발간된 매뉴얼에 제시하였다. 외래종 과실파리가 국내에 침입할 때 이를 효율적으로 탐지하는 것은 매우 중요하다. 본 과제에서는 우리나라의 금지급 과실파리들을 대상으로 현재 가용한 유인제들에 대한 정보를 종합하여 정리하고, 각 종들에 대해 사용할 수 있는 유인제와 이를 사용한 모니터링 방법을 제시하였다. 모니터링을 효율적으로 수행하기 위해서는 몇 가지 점을 명확히 할 필요가 있는데, 1) 모니터링의 목적이 분명해야 하며, 2) 어떤 유인제를 사용할 지에 대한 정확한 정보가 필요하고, 3) 가능한 한 종 특이적인 유인제를 사용하도록 하며, 4) 비 대상 종의 포획 가능성을 고려하고, 5) 유인제를 우리나라 야외 환경에서 사용할 때의 유인제의 안정성과 지속성을 파악하고 있어야 하며, 6) 설치와 조사 등 사용의 편의성을 고려해서 트랩을 선정하고, 7) 대상 종 과실파리 암컷에 대한 유인제가 가용한 지를 파악하며, 8) 필요시 대상 종에 대한 새로운 유인제를 개발할 준비를 갖추는 것이 필요하다. 이번 과제를 통해 선정한 66 종의 금지급 과실파리들 중 *Bactrocera*와 *Zeugodacus* 속에 속하는 종이 43 종으로 가장 많고 (Table 6-1), *Rhagoletis* 속이 8 종, *Anastrepha* 속이 7 종 포함되어 있다 (Table 6-1).

**Table 6-1.** 종별 모니터링 방법을 매뉴얼로 제시한 금지급 과실파리 66 종의 과실파리과 (Tephritidae) 내 속명과 각 속에 속한 금지급 과실파리의 종 수

Genus	Number of species
<i>Anastrepha</i>	7
<i>Bactrocera</i>	33
<i>Ceratitis</i>	2
<i>Carpomyia</i>	1
<i>Dacus</i>	2
<i>Euphranta</i>	1
<i>Plioreocepta</i>	1
<i>Rhagoletis</i>	8
<i>Zeugodacus</i>	10
<i>Zonosemata</i>	1

현재 methyl eugenol이나 cuelure 등 여러 가지 화합물들이 과실파리의 유인제로 알려져 있다 (Figure 6-1). 이들은 물질에 따라 분자량 및 휘발성 정도의 범위가 비교적 넓어서 (Table 6-2) 야외 조건에서 유인제로 사용할 때 목적 및 필요조건에 따라 각 물질에 적절한 방출제 (dispenser)를 만들어 사용하도록 해야 할 것이다. 예를 들어, cue lure는 분자량이 크고 끓는점이 352.6 °C로 높으며 (Table 6-2) 따라서 증기압이 낮기 때문에 50 µm 또는 100 µm 두께의 polyethylene으로 제조한 polyethylene bag dispenser에 100 mg을 넣어 방출제로 사용할 경우 유인력이 석 달 이상 지속되는 것이 이번 연구를 통해 확인된 바 있다. 하지만, ammonium

acetate나 putrescine의 경우 끓는점이 낮고 증기압은 아주 높아서 (Table 6-2) 이러한 방출제는 적당하지 않으며 실제로 외국의 경우 많은 양을 방출하도록 설계되어 사용되고 있는 실정이다. Methyl eugenol의 경우에는 cue lure에 비해서 증기압이 500 배 정도 높기 때문에 (Table 6-2) 우리나라의 여름 환경에서 한 달 이상 유인력이 지속되도록 하려면 cue lure의 방출제와는 다른 재질(예를 들어 200 μm 두께의 polyethylene 두 겹으로 제조한 dispenser 사용)을 사용해야 적당할 것이다. 현재 과실파리들의 알려진 유인제들의 유인력은 종 특이성이 높지 않기 때문에 (Table 6-3) 이들을 사용해서 포획한 과실파리의 정확한 종 동정을 할 수 있는 장치가 필요하다. 여러 과실파리에 대해 널리 사용되고 있는 methyl eugenol과 cue lure의 경우 유인력은 비교적 강하지만 종 특이성이 낮고 수컷만을 유인하기 때문에 사용이 제한적이며, 보다 종 특이성이 큰 유인제와 암컷을 유인할 수 있는 유인제가 개발된다면 아주 유용할 것이다.

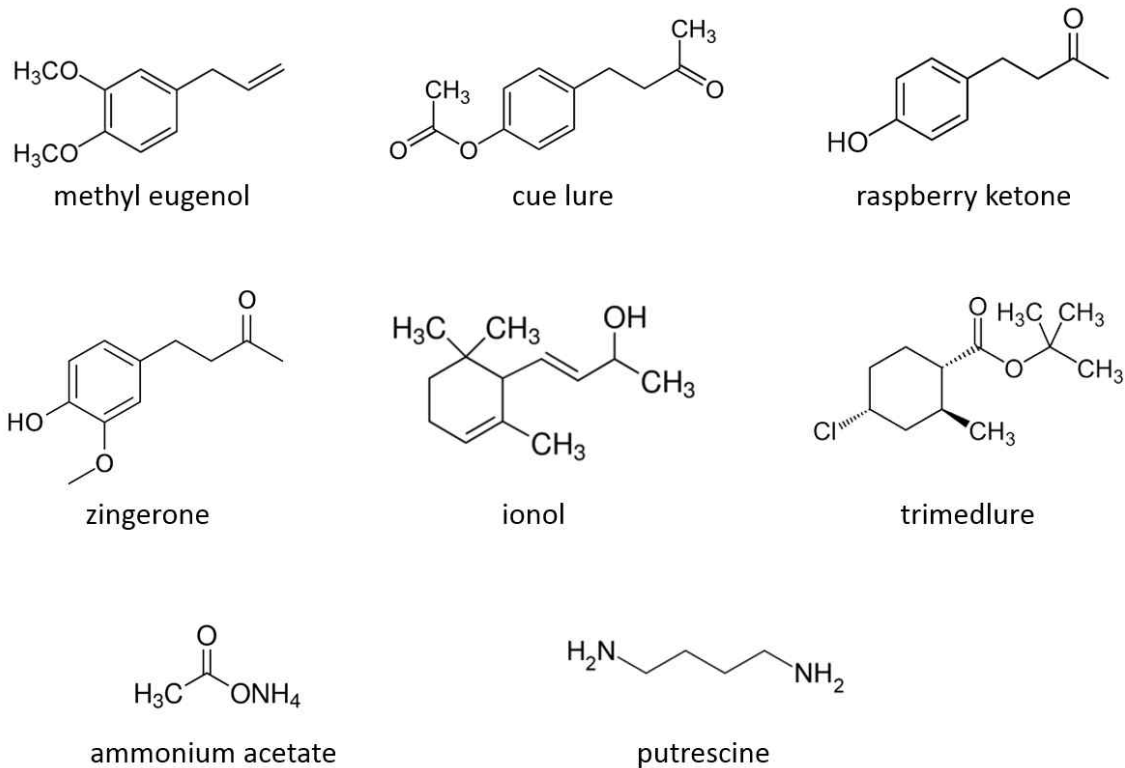


Figure 6-1. 현재 알려져 있는 주요 과실파리 유인제들의 화학구조

Table 6-2. 현재 알려져 있는 주요 과실파리 유인제들의 휘발성과 관련한 주요 물리화학적 특성들

Attractant	MW	Bp (°C)	Vapor pressure P/kPa (25°C)
Methyl eugenol	178.231	255	3,600.00 x 10 <sup>-6</sup>
Cue lure	206.238	352.6	7.54 x 10 <sup>-6</sup>
Raspberry ketone	164.201	200	1.80 x 10 <sup>-6</sup>
Zingerone	194.230	290	19.10 x 10 <sup>-6</sup>
Ammonium acetate	77.083	117.1	1,853,000.00 x 10 <sup>-6</sup>
Protein hydrolysate	-	-	-
Putrescine	88.154	158.6	1,854,000.00 x 10 <sup>-6</sup>
Trimedlure	232.747	284.2	403.00 x 10 <sup>-6</sup>
<u>α-Ionol</u>	194.313	265	173.00 x 10 <sup>-6</sup>

Table 6-3. 현재 알려져 있는 금지급 과실파리의 유인제별 종 특이성, 성 특이성 및 유인력 비교

Attractant	Species-specificity	Sex-specificity	Attractiveness
Methyl eugenol	medium	male	strong
Cue lure	medium	male	strong
Raspberry ketone	medium	male	strong
Zingerone	medium	male	strong
Ammonium acetate	low	both	medium
Protein hydrolysate	low	both	weak
Putrescine	low	both	medium
Trimedlure	medium	male	strong
<u>α-Ionol</u>	high	male	weak

페로몬이나 카이로몬 등의 곤충 유인제의 방출제로는 고무격막(rubber septa), 솜방방이(cotton wick), 폴리에틸렌 봉지(polyethylene bag: PE bag), 미세 유리관, 다공성 플라스틱 (multiporous plastic) 등이 사용되고 있는데, 이상적인 방출제는 오랜 시간 동안 일정 양의 화합물을 지속적이고 안정적으로 공기 중으로 방출하도록 하는 것이지만 위의 어느 것도 모든 화합물에 적용될 수는 없으며 사용되는 물질의 물리, 화학적 특성과 요구되는 방출제의 조건에 따라 선택하고 최적화하여 사용되어야 한다. 예를 들어, 사용하는 유인제의 휘발성이 크다면 솜방방이 형태의 방출제는 이상적이 아닌데 그 이유는 유인제가 너무 빨리 공기 중으로 방출되기 때문이며, 사용되는 유인제의 양이 비교적 많다면(수 십 mg 이상) 고무격막은 바람직하지 않은데 그 이유는 고무격막에의 처리량에는 한계가 있기 때문이다.

본 과제에서는 기존에 과실파리의 유인제로 사용되는 cue lure와 methyl eugenol, 그리고 호박 과실파리 및 호박꽃과실파리의 유인제 개발 과정을 통해 사용되는 다양한 냄새 화합물들을 세

가지 방출제[고무격막(rubber septa), 솜방망이(cotton wick) 및 폴리에틸렌 봉지(PE bag)]를 사용하면서 비교를 했다. Cue lure와 methyl eugenol은 약 100 ~ 500 mg의 비교적 많은 양을 방출제 하나에 처리하여 과실파리의 유인제로 사용하기 때문에 통상 100 mg 이내의 화합물을 처리할 수 있는 고무격막은 제조상의 문제 때문에 이들 물질의 방출제로는 적당하지 않았다. 솜방망이는 cue lure를 처리하여 사용할 경우 강한 유인력이 한 달 이상 지속되는 것으로 나타났고, methyl eugenol을 처리한 경우에는 1 ~ 2주일 후에는 유인력이 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 또한, delta trap안에 위치한 끈끈이판에 이들 물질을 처리한 솜방망이를 위치시켰을 때 트랩의 위치에 따라 강한 햇볕에 노출되어 변색이 되는 경우가 많이 있었고, 빗물에 솜방망이가 적셔진 경우도 흔히 있었다. 비교적 휘발성이 큰 EAD-active compounds 또는 EPD-active compounds들의 경우에는 100 mg 이내의 소량을 처리할 경우 고무격막은 제조와 사용에 편리했으며, 반면에 솜방망이는 물질이 너무 빨리 증발했기 때문에 이들 물질의 방출제로는 적당하지 않은 것으로 판단되었다. PE bag의 경우에는 cue lure 및 methyl eugenol의 방출제로 적당한 것으로 판단되었다. Cue lure의 경우 100 mg의 cue lure를 50 µm 두께의 PE bag에 처리하여 방출제로 사용할 경우 석 달 이상 안정적으로 방출되면서 야외에서 유인력을 나타내는 것을 나타내는 것을 확인할 수 있었으며, methyl eugenol의 경우에는 100 µm 두께의 PE bag에 100 mg의 methyl eugenol을 처리하여 사용하면 한 달 이상 안정적인 유인력을 야외에서 지속하는 것을 확인되었다. 본 과제에서 야외 트랩실험에 사용한 여러 가지 합성 냄새물질들은 넓은 범위의 휘발성을 갖고 있고 다양한 물리, 화학적 특성을 갖고 있었는데, 이들 물질을 PE bag에 처리해서 사용할 경우 방출 특성도 상대적으로 가장 안정적인 것을 알 수 있었고, 빗물에 의한 오염이나 유실, 그리고 직사광선에 의한 변성도 최소화 할 수 있었다. 고무격막도 이들 물질에 쓰일 수 있지만, 2019년에 이뤄진 야외 트랩실험을 통해 이들 중 많은 물질들이 10 mg 수준에서는 유인력을 거의 나타내지 않았고 100 mg을 처리했을 때 물질에 따라 강한 유인력을 나타낸 것으로 판명되었기 때문에, 이 정도의 양을 처리할 수 있는 PE bag이 과실파리 합성 유인제의 방출제로 적당한 것으로 판단된다. PE bag을 방출제로 사용할 경우, 사용하는 PE bag의 두께를 조절하여 휘발성이 서로 다른 유인제의 방출 특성을 맞춤형으로 조절하고 원하는 지속 시간과 방출량을 나타내는 방출제로 만들어 사용할 수 있다는 장점이 있다.

우리는 또한 몇 가지 dispenser들의 냄새물질 방출 특성을 규명하기 위해 실내와 야외에서 방출량을 조사하였다. 사용된 dispenser는 filter paper (Advantee, #2, 110 mm circle), 일반 탈지면, embossing cotton puff (50 × 60 cm, Olive Young, 엠보싱화장솜), 및 PE bag (100 mil=100 um thick + 4 × 4 cm filter paper)이며, 여기에 hexane 0.2 ml 또는 cue lure 100 mg을 가하고 실내 또는 정읍 생명공학연구소의 야외에 설치하고 시간에 따른 질량 변화를 측정하였다. 그 결과, Hexane은 filter paper, 탈지면, 또는 embossing cotton puff에 가했을 때 급격히 증발하여 5분 이내에 99% 이상이 공기 중으로 증발하였고, PE bag에 넣었을 경우에는 방출 속도가 훨씬 낮아서 0.2 ml의 hexane이 99% 이상 방출되는 데에 24시간 이상 걸리는 것을 알 수 있었다. Cue lure의 경우에는 증발량이 아주 낮았으며, PE bag에 100의 cue lure를 가했을 경우 3주일 동안 5% 이내의 cue lure 만이 공기 중으로 방출되는 것이 확인되었다. 트랩실험이 수행되는 시험 포장에 설치한 cue lure의 PE dispenser의 질량을 지속적으로 측정한 결과, 야외 포장에 설치된 3개월 동안 초기 질량의 10% 정도만 공기 중으로 증발되고 나머지는 PE dispenser에 남아 있는 것이 확인되었다.

금지급으로 선정된 66 종 과실파리들에 대해 사용될 수 있는 유인제를 기준으로 다섯 가지 그룹

으로 나뉘었을 때 (Table 6-4), methyl eugenol에 유인되는 금지급 과실파리는 11 종 (Table 6-5), cue lure에 유인되는 금지급 과실파리는 16 종 (Table 6-6), ammonium acetate에 유인되는 금지급 과실파리는 14 종 (Table 6-7), 그리고 이 외의 유인제들에 유인되는 금지급 과실파리는 6 종(Table 6-8)으로, 각 종에 대해서 해당 유인제를 사용하는 것을 권고한다. 66 종의 금지급 과실파리들 중에서 19 종(Table 6-9)에 대해서는 아직 적당한 유인제가 가용하지 않기 때문에 이들에 대한 유인제를 지속적으로 개발하는 것도 과실파리에 대한 종합적인 검역 시스템을 갖추는 데 큰 도움이 될 것이다.

금지급 과실파리의 종 별로 유인제에 대한 가용한 정보에 입각해서 각 유인제의 유인력에 대한 신빙성 정도를 아래의 다섯 개 등급으로 구분을 했다. 이것은 우리가 제시하는 과실파리 모니터링 매뉴얼에서 제시한 각 유인제들의 대상 종에 대한 유인력이 얼마나 신빙성이 있는지를 판단하는 척도가 될 것이다.

- Category I (1 등급): 3 편 이상 논문에서 입증 보고됨, 잘 정립됨 (21 종)
- Category II (2 등급): 2 편 이내의 논문에서 입증 보고됨, 공식 매뉴얼에 추천됨 (4 종)
- Category III (3 등급): 2 등급 요건 중 하나만 만족함, 신뢰성 있는 자료 (24 종)
- Category IV (4 등급): 2 등급 요건 중 하나만 만족함, 신뢰성은 논란의 여지 있음 (3 종)
- Category V (5 등급): 위의 어느 것에도 해당되지 않음 (5 등급 이하: 14 종)

[각주: Source of information] 1) Paper’: published articles in peer-review journals; ‘Official manual’: official fruit fly manuals published in USA, NZ, AUS, Japan or EU; ‘Elsewhere’: pamphlet, brochure, web search, etc.

Table 6-4. 유인제에 따른 금지급 과실파리들의 분류

FF Group	Attractant	No of species	Remarks
ME Group	methyl eugenol	11	10 <i>Bactrocera</i>
CL Group	cue lure	16	10 <i>Bactrocera</i> 5 <i>Zeugodacus</i>
AA Group	ammonium acetate	14	5 <i>Anastrepha</i> 7 <i>Rhagoletis</i>
Other attractant Group	synthetic compounds	6	various
No attractant Group	no attractant	19	2 <i>Anastrepha</i> 10 <i>Bactrocera</i> 1 <i>Rhagoletis</i> 3 <i>Zeugodacus</i>

Table 6-5. Methyl eugenol에 유인되는 금지급 과실파리 그룹 (11 종)

종명	한국명	유인제	유인제 등급
<i>Bactrocera carambolae</i>	카람볼라과실파리	ME	I
<i>Bactrocera correcta</i>	구아바과실파리	ME	I
<i>Bactrocera curvipennis</i>	뉴칼레도니아과실파리	Isoeugenol	III
<i>Bactrocera dorsalis</i>	오리엔탈과실파리	ME	I
<i>Bactrocera halfordiae</i>	할포디아과실파리	Isoeugenol	III
<i>Bactrocera kraussi</i>	크라우스과실파리	Isoeugenol	IV
<i>Bactrocera musae</i>	바나나과실파리	ME	II
<i>Bactrocera occipitalis</i>	필리핀굴과실파리	ME	II
<i>Bactrocera xanthodes</i>	섬과실파리	Methyl isoeugenol	III
<i>Bactrocera zonata</i>	복숭아과실파리	ME	I
<i>Zeugodacus diversus</i>	남방호박꽃과실파리	Methyl isoeugenol	III

Table 6-6. Cue lure에 유인되는 금지급 과실파리 그룹 (16 종)

종명	한국명	유인제	유인제 등급
<i>Bactrocera bryoniae</i>	호주고추과실파리	Cue lure	I
<i>Bactrocera curcurbitae</i>	오이과실파리	Cue lure	I
<i>Bactrocera facialis</i>	통가과실파리	Cue lure	III
<i>Bactrocera frauenfeldi</i>	망고과실파리	Cue lure	I
<i>Bactrocera melanotus</i>	쿡제도과실파리	Cue lure	III
<i>Bactrocera neohumeralis</i>	작은퀸즐랜드과실파리	Cue lure	I
<i>Bactrocera passiflorae</i>	피지과실파리	Cue lure	III
<i>Bactrocera tau</i>	타우과실파리	Cue lure	I
<i>Bactrocera trivialis</i>	뉴기니과실파리	Cue lure	III
<i>Bactrocera tryoni</i>	퀸즐랜드과실파리	Cue lure	I
<i>Dacus solomonensis</i>	솔로몬호박과실파리	Cue lure	III
<i>Zeugodacus caudatus</i>	열대호박꽃과실파리	Cue lure	I
<i>Zeugodacus hochii</i>	수세미과실파리	Cue lure	III
<i>Zeugodacus scutellaris</i>	동남아호박꽃과실파리	Cue lure	III
<i>Zeugodacus strigifinis</i>	호주호박꽃과실파리	Raspberry ketone	III
<i>Zeugodacus triangularis</i>	뉴기니호박꽃과실파리	Cue lure	I

Table 6-7. AA(ammonium acetate)에 유인되는 금지급 과실파리 그룹 (14 종)

종명	한국명	유인제	유인제 등급
<i>Anastrepha fraterculus</i>	남미과실파리	AA	III
<i>Anastrepha ludens</i>	멕시코과실파리	AA	I
<i>Anastrepha serpentina</i>	사포테과실파리	AA	I
<i>Anastrepha striata</i>	신세계구아바과실파리	AA	III
<i>Anastrepha suspensa</i>	카리브해과실파리	AA	I
<i>Dacus ciliatus</i>	에티오피아과실파리	AA	IV
<i>Rhagoletis mendax</i>	블루베리과실파리	AA	III
<i>Rhagoletis cerasi</i>	유럽양벚과실파리	AA	I
<i>Rhagoletis cingulata</i>	체리과실파	AA	I
<i>Rhagoletis completa</i>	남방호두과실파리	AA	III
<i>Rhagoletis fausta</i>	블랙체리과실파리	AA	III
<i>Rhagoletis indifferens</i>	서부양벚과실파리	AA	I
<i>Rhagoletis pomonella</i>	사과과실파리	AC	I
<i>Zonosemata electa</i>	고추과실파리	AH	III

Table 6-8. 기타 합성 유인제에 유인되는 금지급 과실파리 그룹 (6 종)

종명	한국명	유인제	유인제 등급
<i>Bactrocera jarvisi</i>	자비스과실파리	Zingerone	III



<i>Bactrocera kirki</i>	키르크과실파리	Zingerone	III
<i>Bactrocera latifrons</i>	말레이시아과실파리	$\alpha$ -Ionol	I
<i>Ceratitis quinaria</i>	닷점박이과실파리	$\alpha$ -Copaene	III
<i>Ceratitis rosa</i>	나탈과실파리	TML	I
<i>Zeugodacus cucumis</i>	호주오이과실파리	9-component synthetic mix*	III

\* 9-Component synthetic mix: *Z*9-hexenal, *Z*6-nonen-1-ol, 1-octen-1-ol, acetic acid, (*E,Z*)-2,6-nonadienal, *E*2-nonenal, hexanal, *E*2-octenal, hexan-1-ol

Table 6-9. 아직 알려진 합성 유인제가 없는 금지급 과실파리 그룹 (19 종)

종명	한국명	유인제	유인제 등급
<i>Anastrepha grandis</i>	남미호박과실파리	PA	II
<i>Anastrepha obliqua</i>	서인도과실파리	PA	II
<i>Bactrocera albistrigata</i>	동남아망고과실파리	None	
<i>Bactrocera aquilonis</i>	노던준주과실파리	None	
<i>Bactrocera bancroftii</i>	뽕나무과실파리	None	
<i>Bactrocera caryeae</i>	인도굴과실파리	None	
<i>Bactrocera minax</i>	굴과실파리	PA	III
<i>Bactrocera psidii</i>	남태평양과실파리	None	
<i>Bactrocera pyrifoliae</i>	태국복숭아과실파리	None	
<i>Bactrocera trilineola</i>	바누아투과실파리	None	
<i>Bactrocera tsuneonis</i>	일본굴과실파리	None	
<i>Bactrocera tuberculata</i>	중국망고과실파리	None	
<i>Carpomyia pardalina</i>	러시아참외과실파리	PA	IV
<i>Euphranta canadensis</i>	커런트과실파리	None	
<i>Plioreocepta poeciloptera</i>	아스파라거스과실파리	None	

<i>Rhagoletis suavis</i>	호두과실파리	None	
<i>Zeugodacus atrisetosus</i>	남방호박과실파리	None	
<i>Zeugodacus decipiens</i>	파푸아호박과실파리	PA	III
<i>Zeugodacus mundus</i>	애호박과실파리	None	

과실파리의 모니터링에 유인제와 함께 사용되는 트랩은 다양한데, 크게 두 가지 그룹으로 나눌 수 있어서, 한 가지는 단백질먹이나 암모니아 계통의 비교적 많은 양의 액체 유인제를 사용하는 맥페일 또는 버켓 형태의 트랩이고, 다른 하나는 methyl eugenol이나 cue lure 같은 성분을 소량 함유한 고형 방출제를 장착한 트랩으로 유인된 과실파리를 끈끈이판에 달라붙게 하여 포획하거나 유인제를 살충제와 함께 통에 넣어 유인된 과실파리가 기화한 살충 성분으로 인해 죽어 포획되게 할 수 있다 (Figure 6-2). 이번 연구에서는 끈끈이판을 장착한 빨간색 델타트랩이 methyl eugenol이나 cue lure 같은 종류의 유인제를 사용하기에 적당한 것으로 판단되었다.

과실파리에 대한 검역활동에서 유인제와 트랩을 사용한 모니터링은 크게 상시모니터링과 긴급모니터링으로 나눌 수 있는데, 이 두 가지 중 목적에 따라 유인제와 트랩을 달리 선정하여 사용하는 것이 적절할 경우가 있으며, 트랩의 설치 장소, 트랩의 설치 밀도 및 트랩 조사 빈도 등의 요소도 목적에 맞게 선정해야 할 것이다 (Table 6-10).

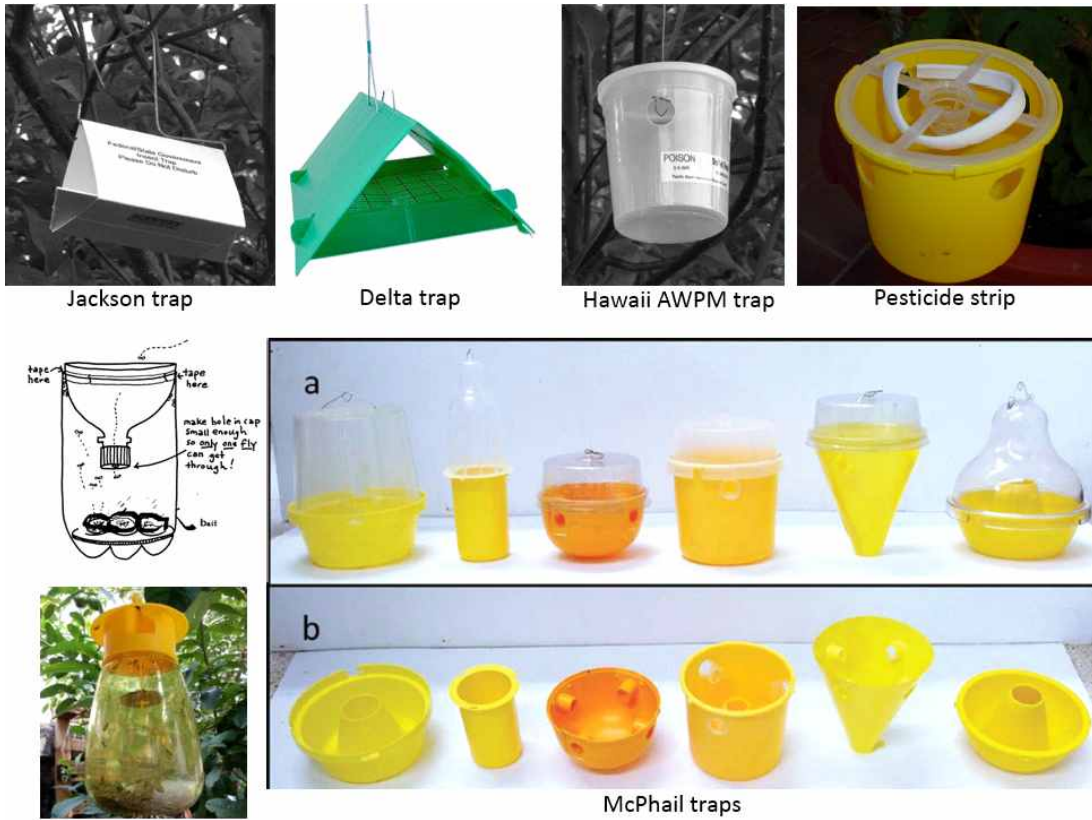


Figure 6-2. 과실파리 모니터링에 사용되는 트랩들

	상시모니터링	긴급모니터링
Target species	multiple	single
Area	general	specific
Trap density	various	high
Attractant	generic	specific
Trap service	weekly	daily
Urgency	routine	urgent

Table 6-10. 상시모니터링과 긴급모니터링의 비교

## 제20장 검역대상 과실파리의 유인제 개발을 위한 매뉴얼

### 제1절 검역대상 과실파리의 유인제 개발 전략

금지급 과실파리에 대한 잘 정립된 모니터링 시스템을 갖추고 운용하기 위해서는 단기, 중기 및 장기 목표와 계획을 세워 체계적으로 실행해 나갈 필요가 있을 것이며 각 단계에서 다음을 고려하면 좋을 것이다. 단기(short term) 계획으로는 1) 현재 가용한 유인제로 우리나라 환경에서 최적화 된 모니터링 방법을 정립하고, 2) 표준화 된 단백질먹이(protein bait)를 개발하며, 중기(mid-term) 계획으로는 1) cue lure의 호박꽃과실파리에 대한 유인력을 저하시키는 물질을 찾아 사용할 수 있도록 하며, 2) 두 종 이상의 과실파리를 유인할 수 있는 다종유인제(multi-species lure)를 개발하며, 3) 현재 유인제가 가용하지 않은 금지급 과실파리들의 종별 유인제를 개발하며, 장기(long-term) 계획으로는 1) 금지급 과실파리의 암컷 합성유인제를 개발하며, 2) 현재 유인제가 가용하지 않은 금지급 과실파리들의 종별 유인제 개발을 계속 진행하고, 3) 종 특이성이 큰 금지급 과실파리들의 유인제를 개발해 나간다.

### 제2절 검역대상 과실파리의 유인제 개발 과정

#### 1. 시스템 및 개발 과정 개요

본 매뉴얼은 대상 종에 대해 외국에서 이미 알려진 유인제의 유인 효과나 국내 환경에서의 사용에 따른 최적화 등에 대한 부분은 다루지 않으며, 아직 유인제가 알려져 있지 않은 과실파리 종의 새로운 유인제를 개발하는 과정에 대해서만 논하고자 한다. 본 과제를 수행하면서 진행한 호박과실파리 및 호박꽃과실파리의 유인제를 개발하는 과정을 정리하여 이를 검역에 관련한 다른 과실파리들의 유인제 개발을 위한 표준 유인제 개발 과정으로 제시한다 (Figure 7-1). 이는 일반적인 곤충의 유인제 개발 과정과 파리류의 유인제 개발 과정 등을 종합한 것인데, 기술적인 부분에서는 전체적인 과정과 진행 단계, 그리고 사용되는 기술과 장비 등에 있어서 일반적으로 알려진 곤충의 유인제 개발 단계와 유사한 부분이 많지만 큰 차이도 있으며, 검역 대상 해충이기 때문에 아직 우리나라에 존재하지 않거나 침입 초기단계에 있는 해충을 대상으로 하는 연구개발이라는 특수한 여건에 따라 고려해야 할 사항들이 많이 있다. 예를 들어, 이러한 종들을 대상으로 하는 국내에서의 트랩실험 등의 진행은 비현실적일 것이다. 한국에 정착되지 않은 과실파리 종의 유인제 개발을 원활히 하기 위해서는 이 종이 존재하는 나라와의 공조 및 협력이 아주 중요할 것이며, 국내에 차폐시설을 구축하고 차폐시설에 대상 과실파리를 들여와서 유지, 사육하면서 필요한 연구를 수행할 수 있는 시스템을 갖추는 것이 효율적일 것이다. 또한, GC-EAD 등의 전기생리 시설을 차폐시설과 함께 구축하거나 이러한 시설을 갖춘 외부 기관과 함께 공조할 수 있는 시스템을 구축한다면 유인제 개발을 보다 효율적으로 진행할 수 있을 것이다. 유인제 개발의 전체적인 과정은 Figure 7-1에 요약된 것처럼 유인 성분이 함유된 조물질을 추출하고, 이에 함유된 많은 화합물 중에서 냄새활성을 갖는 물질들을 전기생리적 방법으로 동정한 다음, 유기분석 기법을 사용해서 냄새활성을 보인 물질들의 화학구조를 규명하며, 이들 물질의 유인력을 행동 생물검정(behavioural bioassay)을 통해 유인제 성분을 개발하고, 이들 유인제의 조성에 최적화된 방출제를 개발하는 것이다. 유인제 개발에는 대상 종에 따라 어느 정도의 불확실성이 따르게 되지만, 필요한 시스템이 구축되고, 충분한 인력과 자원이 투입되며, 외국과의 공조가 이뤄지는 상황에서는 과실파리의 새로운 유인제 개발이 1 ~ 2년 이내에도 이뤄질 수 있을 것이다.

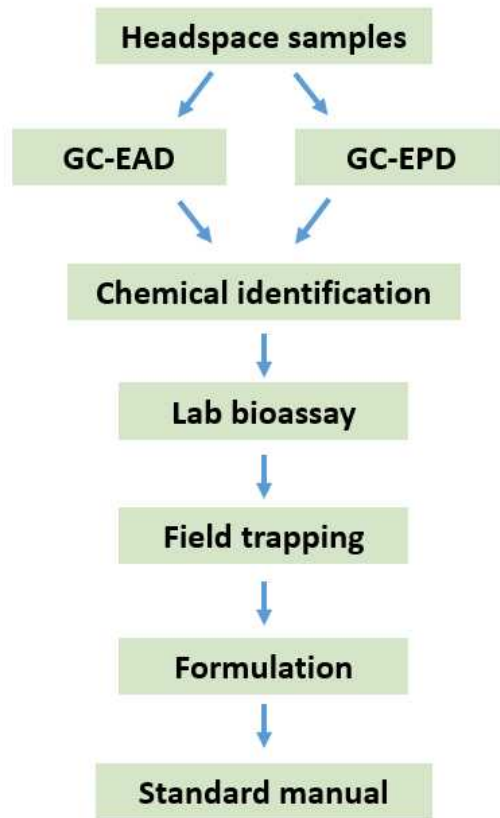


Figure 7-1. 과실파리 유인제 개발 과정의 흐름도

## 2. 실험곤충의 공급 및 조추출물 확보

유인제 개발의 연구 초기 단계와 전기생리 실험을 통한 냄새활성물질 동정, 그리고 실내 생물검정 등을 원활히 수행하기 위해서는 안정적인 실험곤충의 확보가 아주 중요하다. 따라서, 유인제 개발의 초기 단계에 실험곤충의 현실적이고 원활한 공급 방안을 마련할 필요가 있다. 만약 대상 종의 실내 누대사육이 어렵지 않다면 이 종을 차폐시설에 도입하여 실내 콜로니를 만들어 필요한 실험이 종료될 때까지 실험곤충을 공급하는 것이 이상적일 것이다. 하지만, 이것이 어려운 경우에는 이 종이 서식하는 외국 현지에서 채집하거나 번데기가 될 때까지 먹이식물로 사육하여 공급을 받도록 하는 것도 좋을 것이다. 만약 차폐시설에의 도입 또는 현지로부터의 실험곤충 조달이 어렵다면, 현지에 가서 필요한 연구를 수행하거나 현지의 연구자들과의 공동연구를 통해 진행할 수 있을 것이다. 실험곤충의 확보 방안을 마련하면서, 실험에 사용할 조추출물을 준비해야 한다. 유인제의 개발에서 적합한 조물질의 확보는 아주 중요한데, 이것은 추출한 조물질에 활성 물질이 얼마나 존재하는지에 따라 그 이후 진행되는 연구개발의 성공 여부가 직결되기 때문이다. 우선 lek 행동, 섭식, 특정 기주에의 선호성, 교미나 산란과 관련한 냄새 활성물질의 존재에 대한 행동적 증거 등을 확보하고 나서, 냄새활성이 있다고 판단되는 대상(기주식물 등)으로부터 headspace sample이나 solvent extract 등의 조추출물을 확보하도록 한다. 가능하다면, 이 조추출물의 행동 활성을 확인하는 것이 큰 도움이 된다. 되도록 충분한 양의 조추출물을 확보하여 동일한 조추출물을 연구개발 단계에서 계속 사용할 수 있도록 할 수 있다면 이상적일 것이다. 실험곤충이 확보되고 필요한 조추출물이 준비되면 이 조추출물에 함유된 냄새활성물질들을 동정하

기 위한 다음 단계 연구를 진행한다.

### 3. 전기생리 기법을 이용한 냄새활성물질 동정 및 화학구조 규명

전기생리 기법은 곤충에서 페로몬이나 카이로몬 등의 행동제어물질들을 효율적으로 개발할 수 있도록 하는 아주 유용한 도구이다. 수많은 물질을 함유한 조추출물을 GC(gas chromatograph)에 주입하고, GC에서 분획되어 나오는 각 물질들에 대한 곤충 냄새감각기의 반응을 실시간으로 측정하여, 어떤 GC peak가 대상 곤충에 냄새 활성을 나타내는지를 빠르게 파악하는 것이다. 곤충은 일반적으로 안테나에 냄새감각기들이 집중적으로 분포하고 있기 때문에 안테나의 반응을 동시에 측정하는 GC-EAD 기술을 사용하여 냄새활성물질을 동정하게 된다. 하지만, 본 과제를 통해 과실파리에서는 안테나뿐 아니라 작은턱수염(maxillary palps)도 냄새 통신에 큰 역할을 하며 중요한 과실파리의 유인제인 cue lure 도 과실파리의 안테나가 아닌 작은턱수염에 의해 감지된다는 것이 발견되었고, 따라서 과실파리의 유인제 개발 과정에서는 GC-EAD와 함께 GC-EPD(coupled gas chromatograph-electropalpogram detection)도 병행하는 것이 아주 중요하다. 궁극적으로는 검역본부에 차폐시설과 함께 GC-EAD 및 GC-EPD 실험을 할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 효율적일 것이지만, 현재 국내에는 농촌진흥청, 한국생명공학연구원 및 몇 개의 국립대학교에 GC-EAD 및 GC-EPD를 할 수 있는 시스템이 구축되어 있기 때문에 이들 기관과의 공조를 통해 대상 과실파리의 GC-EAD와 GC-EPD를 진행할 수 있을 것이다. 하지만, 대상 곤충의 공급 등의 문제로 인해 국내에서 GC-EAD와 GC-EPD 실험을 진행하는 것이 어렵다면 현지에서 이러한 실험들을 진행해야 할 것이다. 여기에는 대상 과실파리 종이 존재하는 나라의 연구진과의 공동연구를 고려할 수 있는데, 만약 대상 과실파리 종이 하와이나 호주 등에 존재하는 종이라면 이들 나라에 이미 구축된 전기생리 연구 시설을 이용할 수 있는 방안을 모색할 수 있을 것이다. 하지만, 현실적으로 우리나라의 검역 대상 과실파리들이 동남아시아나 중남미에 많이 분포하는데, 이러한 지역의 나라들에는 아직 효율적인 GC-EAD 시스템이 가용하지 않은 경우가 대부분이어서 이러한 나라들의 연구진과 연구 시설에 의존해 GC-EAD나 GC-EPD 실험을 진행하는 것은 어려울 것이기 때문에, 궁극적으로는 portable GC-EAD 시스템을 구축하여 현지로 가져가서 실험을 진행할 수 있도록 하는 것이 이상적일 것이다. 실제로, 소형 portable GC들이 가용하며 EAD나 EPD를 할 수 있는 시스템도 노트북컴퓨터와 소형화 된 전기생리 시스템을 조합하여 portable GC-EAD 시스템을 어렵지 않게 구축할 수 있다. GC-EAD와 GC-EPD를 통해 안테나와 작은턱수염에 냄새활성을 나타내는 물질들을 동정하면, GC-MS 등의 유기분석을 통해 이들 냄새활성 물질의 화학구조를 규명하게 된다. 이들 활성물질의 화학구조 규명은 단시간에 완성될 수도 있지만 물질의 특성 및 조추출물에의 함량 및 불순물 여부, 그리고 물질의 안정성 등에 따라 아주 복잡하거나 긴 시간을 요할 수도 있으며, 특수한 방법을 사용해서 충분히 농축을 해야 하거나 물질을 치환 또는 안정화시키는 단계가 필요할 수도 있다. 냄새활성물질들의 화학구조가 동정되면 이들의 행동 활성을 검정하는 다음 단계로 넘어간다.

### 4. 생물검정을 통한 유인 행동활성 검정 및 방출제 개발

GC-EAD와 GC-EPD를 통해 동정된 냄새활성물질들은 안테나와 작은턱수염에 있는 냄새감각기에 활성을 나타내는 물질들이고, 따라서 이들 물질이 대상 종의 냄새 통신에 중요한 역할을 할 가능성이 있지만 이들의 행동 활성을 직접 확인하여 유인력을 나타내는 성분들만을 찾는 생물검정 과정이 필수적이다. 행동활성은 실내 바이오어세이나 야외 트랩실험을 통해 검정이 되는데, 궁극적으로 야외 트랩실험을 통해 유인력이 최종 확인되어야 한다. 차폐시설에 대상 과실파리 종을 도입하여 사육을 함으로써 충분한 수의 과실파리를 실험에 공급할 수 있다면 차폐시설 내에

서 실내 생물검정을 통해 대상 냄새활성물질들의 행동 활성을 빠르게 파악해 나갈 수 있을 것이다. 하지만, 대상 종의 공급이나 취급이 어렵다면 실내 생물검정은 생략하고 야외에서의 트랩실험을 통해 행동활성을 검정을 진행할 수 있을 것이며, 실내 생물검정을 통해 유인 행동활성을 보인 물질들의 유인력도 최종적으로는 야외 트랩실험을 통해 입증되어야만 한다. 야외 트랩실험을 수행하기 위해서는 충분한 수의 대상 과실파리가 야외에 존재해야 하는데, 검역 대상 과실파리의 경우 우리나라에 존재하지 않을 것이기 때문에, 야외 트랩실험은 그 종이 존재하는 현지에서 이뤄져야만 할 것이며, 이는 현지 방문연구 또는 국제공동연구 등을 통해 이뤄지도록 해야 할 것이다. 야외 트랩실험을 수행하려면 대상 종의 발생과 밀도 등을 파악하여 트랩 실험을 효율적으로 진행할 수 있도록 하는 것이 중요한데, 이는 유인제 개발을 위해 검정해야 하는 물질 및 이들 물질의 조합 수가 아주 많은 것이 일반적이고 따라서 많은 야외 트랩실험들이 순차적으로 진행되어야 하기 때문이다. 유인제의 개발을 진행하는 동안 사용되는 트랩과 루어는 여러 가지 옵션이 있지만 델타트랩과 폴리에틸렌 봉지형 방출제가 편리할 것이다. 델타트랩은 빨간 색이나 녹색의 트랩을 사용하고 흰 색이나 노란색은 피하도록 하여 non-target 파리나 대상 종의 시각에 의한 유인을 최소화하도록 한다. 사용되는 PE bag은 대상 물질에 맞춰 정하도록 하며 시험 물질이 휘발성이 크지 않을 경우에는 50  $\mu\text{m}$  두께의 PE bag을 사용하고 휘발성이 클 경우에는 200  $\mu\text{m}$  두께의 PE bag을 초기에 사용하는 것이 권장된다. 활성물질이 두 가지 이상일 경우 이들을 여러 조합으로 만들어 행동활성을 함으로써 가장 적합한 조성을 찾는 과정이 필요할 것이며, 단일 물질의 경우에도 강한 유인력을 나타내면서 경제적으로 사용할 수 있는 유인제의 양을 결정하는 실험을 해야 할 것이다. 물질의 종류, 조성 및 양에 대한 정량적 자료가 확보되면 이를 바탕으로 유인제를 방출하는 dispenser의 시험을 통해 방출 특성 및 지속 시간 등을 확인하고 바람직한 방출제를 만들기 위한 최적화(optimization) 과정을 거쳐 유인제를 완성할 수 있을 것이다.



## 나. 연구개발성과

### (1) 논문게재 성과

#### (가) SCI 논문 - 9건

- Al Baki, Keum ES, Kim H, Song Y, Kim Y, Park Y. 2017. Age grading and gene flow of overwintered *Bactrocera scutellata* populations. *J. Asia Pac. Entomol.* 20: 1402-1409.
- Han HY, Choi DS, Ro KE. 2017. Taxonomy of Korean *Bactrocera* (Diptera: Tephritidae: Dacinae) with review of their biology. *J. Asia Pac. Entomol.* 20: 1321-1332.
- Kim SB, Kim DS. 2018. A tentative evaluation for population establishment of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) by its population modeling: Considering the temporal distribution of host plants in a selected area in Jeju, Korea. *J. Asia Pac. Entomol.* 21: 451-465.
- Ahn, J, Choi K, Huang SY, Al Baki, Kim Y. 2018. Calcium/calmodulin-dependent protein kinase II of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, and its association with rapid cold hardiness. *J. Asia Pac. Entomol.* 21: 1275-1282.
- Han HY, Ro, KE. 2018. Discovery of a naturally occurring individual of *Acanthiophilus helianthi* (Rossi) (Diptera: Tephritidae) in Korea, a managed quarantine pest by the Korean Animal and Plant Quarantine Agency. *J. Asia Pac. Entomol.* 21: 1262-1267.
- Park KC, Jeong SA, Kwon GM, Oh HW. 2018. Olfactory attraction mediated by the maxillary palps in the striped fruit fly, *Bactrocera scutellata*: Electrophysiological and behavioral study. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 99: e21510.
- Oh HW, Jeong SA, Kim J, Park KC. 2019. Morphological and functional heterogeneity in olfactory perception between antennae and maxillary palps in the pumpkin fruit fly, *Bactrocera depressa*. *Arch. Insect Biochem. Physiol.* 99: e21560.
- Kim Y, Al Baki MA, Kwon G, Kim D, Park KC, Ahn JJ. 2019. Discrimination of different generations of *Zeugodacus scutellata* using age grading technique and their local genetic variation. *J. Asia Pac. Entomol.* 22, 908-915.
- Han HY, Ro KE. 2019. DNA barcoding reveals a species group of the genus *Campiglossa* (Diptera, Tephritidae, Tephritinae) with recognition of a new species from East Asia and previously unknown females of *Campiglossa coei* (Hardy). *ZooKeys* 899, 1-36.

#### (나) 비 SCI 논문 - 8건

- 김용균, 김동순. 2016. *Bactrocera* 속 과실파리 종합관리기술. *한응곤지* 55: 359-376.
- 김용균, 김민현, 김규순, 모하마드 바탄파라스트, 김예진, 권기면. 2017. 오리엔탈과실파리 예찰용 왁스형방출기 제작및분자진단기술. *한응곤지* 56: 289-294.
- 김규순, 김민현, 권기면, 김용균. 2017. 호박꽃과실파리의 트랩형 수컷박멸제기반기술개발. *한응곤지* 56: 51-60.
- 김용균, 몰라이맘, 압둘라알바키, 안정준. 2018. 왁스 제형을 이용한 오리엔탈과실파리(*Bactrocera dorsalis*, 오이과실파리(*B. cucurbitae*) 및 *B. tau* 과실파리에 대한 모니터링 기술 박꽃과실파리 MAT 기술. *한응곤지* 57: 51-52.

김용균, 권기면. 2018. 단백질 기반 Terpinyl Acetate를 이용한 호박과실파리류 암컷유살기술개발.  
 한응곤지 57: 69-75.

최두열, 권기면, 김용균. 2018. 왁스 제형 유인제의 검역 대상 과실파리(Zeugodacus caudata)에  
 대한유인 효과. 한응곤지 57: 185-190.

김용균, 권기면, 안정준. 2018. 호박꽃과실파리 방제를 위한 효과적 살충제 스크리닝 기술. 한농과지 22:  
 29-35.

김용균, 김효일, 마히이맘몰라, 압둘라알바키. 2019. 오리엔탈과실파리 유전변이 - 대만 지역 집단변이.  
 한응곤지 58: 133-142.

(2) 특허성과

(가) 출원 - 4건

출원번호통지서

출원 일자 2016.10.11  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출원 번호 10-2016-0131087 (접수번호 1-1-2016-0981689-79)  
 출원인 명칭 안동대학교 산학협력단(2-2005-020294-7)  
 대리인 성명 유영선(9-1999-000235-9)  
 발명자 성명 김규순 김용균  
 발명의 명칭 호박꽃과실파리류 암컷유살기술(MAT)용 제제 및 이를 이용한 방제방법

특 허 청 장

출원번호통지서

출원 일자 2017.11.16  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출원 번호 10-2017-0152761 (접수번호 1-1-2017-1137843-54)  
 출원인 명칭 안동대학교 산학협력단(2-2005-020294-7)  
 대리인 성명 유영선(9-1999-000235-9)  
 발명자 성명 김용균  
 발명의 명칭 호박꽃과실파리류 암컷 유살용 조성물 및 이를 이용한 호박과  
 실파리류 암컷의 방제방법

특 허 청 장

출원번호통지서

출원 일자 2017.03.08  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출원 번호 10-2017-0029459 (접수번호 1-1-2017-0231452-65)  
 출원인 명칭 안동대학교 산학협력단(2-2005-020294-7)  
 대리인 성명 유영선(9-1999-000235-9)  
 발명자 성명 김용균  
 발명의 명칭 과실파리 모니터링 장치, 국내 과실파리 5종 진단용  
 크라이오 세트 및 이를 이용한 분자진단기술

특 허 청 장

관인생략  
 출원번호통지서

출원 일자 2019.11.26  
 특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)  
 출원 번호 10-2019-0153762 (접수번호 1-1-2019-1219947-74)  
 출원인 명칭 안동대학교 산학협력단(2-2005-020294-7)  
 대리인 성명 유영선(9-1999-000235-9)  
 발명자 성명 김용균  
 발명의 명칭 진자방 조사를 이용한 호박꽃과실파리 암컷 유살용 조성물  
 및 이를 이용한 호박꽃과실파리류의 방제방법

특 허 청 장

(나) 등록 - 1건



### (3) 기술이전 성과 - 2건

#### 기술실시계약서(통상실시)

안동대학교 산학협력단(기술제공자, 주소: 경북 안동시 경동로 1375, 이하 "갑"이라 한다) 과 생물이용연구소(기술이전기업, 주소: 경북 안동 북후면 서삼거리길 83-10, 이하 "을"이라 한다)는 "갑"이 보유한 기술을 "을"이 실시함에 있어 다음과 같이 계약을 체결한다.

**제1조 (용어의 정의)** 본 계약서에서 사용되는 다음 각 호에 기재되어 있는 용어는, 다른 특별한 언급이 없는 한, 각각 다음의 의미를 갖는다.

1. "계약기술"이란 "계약특허" 및 이의 실시에 필요한 관련 노하우(Know-How) 또는 기술을 말한다.
2. "계약특허"라 함은 아래에 기술된 "갑"의 특허(특허 출원을 포함한다) 및 이를 원용함으로써 하는 각각의 제품과 특허를 포함한다(단, 출원중인 산업재산권이 등록되지 아니하는 경우에도 본 계약은 계속 유효하다).

국가	발명의 명칭	특허 출원 번호
1 한국	호박꽃과실파리 수컷유살기술(MAT)용 방제트랩 및 이를 이용한 방제방법	10-2016-0131087

3. "통상실시권"이라 함은 산업재산권관련 법규에서 정한 권리 외에 "을"이 "계약기술"을 비독점적으로 실시하며, 제3자에게 양도할 수 없고 담보에 제공할 수 없으며, 재실시 허락 권한이 없는 권리를 말한다.

**제2조 (실시권의 내용)** ① "갑"은 "을"이 본 계약의 조건에 따라 "계약기술"에 대하여 "계약특허"를 실시할 수 있는 본 계약 제1조제3호에 정의된 통상실시권을 허여한다.

- ② "을"이 제3자를 통한 위탁 생산 및/또는 가공 등을 위해 제3자로 하여금 "계약특허"를 사용하게 하고자 하는 경우(이하 "have made"를 말한다) "갑"의 사전 서면 동의를 얻어야 한다.
- ③ "을"은 "갑"의 사전 서면 동의 없이 제3자에게 본 계약상의 지위와 권리의 전부 또는 일부를 양도할 수 없다.

**제3조 (실시지역)** ① 상기 "계약특허"에 대한 실시지역은 대한민국 전역으로 한다.  
 ② "을"이 "계약기술"을 "국외실시"하고자 하는 경우, 사전에 "갑"과 협의하여 본 계약과 별도로 "국외실시"에 관한 실시계약을 체결하여야 한다.

**제4조 (계약기간 및 생산계시일 통보)** ① 본 계약은 본 계약 체결일로부터 효력이 발생

#### 기술실시계약서(통상실시)

안동대학교 산학협력단(기술제공자, 주소: 경북 안동시 경동로 1375, 이하 "갑"이라 한다) 과 생물이용연구소(기술이전기업, 주소: 경북 안동 북후면 서삼거리길 83-10, 이하 "을"이라 한다)는 "갑"이 보유한 기술을 "을"이 실시함에 있어 다음과 같이 계약을 체결한다.

**제1조 (용어의 정의)** 본 계약서에서 사용되는 다음 각 호에 기재되어 있는 용어는, 다른 특별한 언급이 없는 한, 각각 다음의 의미를 갖는다.

1. "계약기술"이란 "계약특허" 및 이의 실시에 필요한 관련 노하우(Know-How) 또는 기술을 말한다.
2. "계약특허"라 함은 아래에 기술된 "갑"의 특허(특허 출원을 포함한다) 및 이를 원용함으로써 하는 각각의 제품과 특허를 포함한다(단, 출원중인 산업재산권이 등록되지 아니하는 경우에도 본 계약은 계속 유효하다).

국가	발명의 명칭	특허 출원 번호
1 한국	호박꽃과실파리 수컷유살기술(MAT)용 방제트랩 및 이를 이용한 방제방법	10-2016-0131087

3. "통상실시권"이라 함은 산업재산권관련 법규에서 정한 권리 외에 "을"이 "계약기술"을 비독점적으로 실시하며, 제3자에게 양도할 수 없고 담보에 제공할 수 없으며, 재실시 허락 권한이 없는 권리를 말한다.

### (4) 산업화 성과 - 1건

메틸유제늘 수컷유살제



큐루어 수컷유살제



메틸유제늘 유인제



큐루어 유인제



(5) 홍보 성과 - 1건

농민신문 2019년 1월 24일

오미나연

2019년 1월 24일 19

로컬푸드직매장과 도시농업

농민포럼

지역농민이 생산한 농산물에 대해 소비자들이 직접 구매하는 로컬푸드 직매장과 도시농업이 활성화되면서 도시농업의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 도시농업은 도시민들이 텃밭을 가꾸고 농작물을 생산하여 도시민들이 직접 소비하는 것을 말한다. 도시농업은 도시민들의 건강을 증진시키고, 도시농업의 중요성을 알리고, 도시농업의 활성화를 촉진하는 데 있다. 도시농업은 도시민들의 건강을 증진시키고, 도시농업의 중요성을 알리고, 도시농업의 활성화를 촉진하는 데 있다.



김봉규

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

농민신문 기자

사설

양과 마늘 유통대란 - 리용책으로는 해결 어렵다

양과와 마늘 유통대란이 계속되고 있다. 양과와 마늘은 우리나라의 대표 농산물로, 국민들의 건강을 지키는 데 중요한 역할을 하고 있다. 그러나 최근 몇 년 동안 양과와 마늘의 가격이 급등하면서 소비자들이 어려움을 겪고 있다. 이는 주로 기상 조건, 수확량 부족, 그리고 유통망의 혼란 때문이다. 정부는 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 가지 정책을 시행하고 있지만, 리용책으로는 해결이 어렵다. 정부는 보다 효과적인 정책을 시행해야 할 것이다.

농촌노인 인권증진, 국가 복지가능 강화부터

농촌노인 인권증진을 위해서는 국가 복지가능 강화를 우선시해야 한다. 농촌노인은 우리나라의 중요한 자원으로, 그들의 건강과 행복은 국가의 미래를 결정짓는다. 그러나 농촌노인들은 다양한 어려움에 직면하고 있다. 이는 주로 소득 부족, 의료 접근성 부족, 그리고 사회적 고립 때문이다. 정부는 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 가지 정책을 시행하고 있지만, 국가 복지가능 강화를 우선시해야 할 것이다. 정부는 보다 효과적인 정책을 시행해야 할 것이다.

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

오리엔탈과실파리와 백두리류처형 위기관리모델

(6) 매뉴얼 책자 발간 - 4건

주요 금지급 과실파리 침입대비 위기 대응 매뉴얼

농민신문 기자팀 제작



주요금지급 과실파리 침입대비 위기 대응 매뉴얼

농민신문 기자팀 제작



주요 금지급 과실파리 침입대비 위기 대응 매뉴얼

농민신문 기자팀 제작



한국의 검역상 중요한 과실파리 등급분류 제안 및 도해집

농민신문 기자팀 제작



## 다. 연구결과

### (1) 기술적 성과

- 연구 사업 전에 거의 전무한 과실파리 대응 매뉴얼이 본 사업을 통해 새롭게 목록화된 금지급 과실파리 전체에 대해서 대응 매뉴얼을 갖게 되었다.
- 본 매뉴얼은 선진국이 준비한 매뉴얼을 바탕으로 제작 되었기에 거의 동등한 기술력을 지녔다고 보지만, 향후 국내 침입하는 과실파리를 대상으로 한국형 매뉴얼로 개량할 필요가 있다.

### (2) 경제적성과

- 본 연구를 통해 과실파리 모니터링 방출기를 개발하였다. 이는 기존에 100% 수입에 의존하던 것을 국산화하는 기술로서 향후 정부 지원으로 국내 제품의 사용량 증가로 100% 국산화가 가능하여졌다.

## 라. 총괄과제가 있는 경우 세부과제별 결과를 종합 분석하고 고찰한 결론을 기술

본 과제는 전체가 3개의 과제로 구성된다. 분류분야는 금지급 과실파리의 동정 기술, 생태분야에서는 금지급 과실파리의 발생예찰 기술을 개발하고, 방제분야에서는 침입한 금지급 과실파리에 대한 박멸기술을 개발하는 데 있다. 총체적으로 금지급 과실파리가 침입하면, 동정 기술을 통해 정확히 확증하고, 발견지점을 기준으로 긴급 모니터링이 실시된다. 이때 초기에는 주로 발생원점을 추적하는 모니터링에 중점을 두지만, 일단 발생 밀도 이상이 지나면 수컷박멸기술 및 암컷박멸기술이 동원되고 잔여 과실파리는 불임충을 방사하여 완전 박멸을 가져가게 된다. 이때 발생예찰 기술을 이용하여 발견시점을 기준으로 세대별 추적하고, 더 이상 과실파리가 발견되지 않는 시점을 기준으로 3세대 경과까지 과실파리가 발견되지 않으면 박멸을 선언한다. 이러한 시나리오 속에 각 세부과제는 긴밀하고 기능적으로 연결된 연구를 실시하여 총 3권의 매뉴얼과 도해집을 발간하게 되었다.

마. 사업화성과 및 매출실적

- 사업화 성과

항목	세부항목			성 과	
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	0.05 억원	
			향후 3년간 매출	0.1 억원	
		관련제품	개발후 현재까지	억원	
			향후 3년간 매출	억원	
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 5 % 국외 : 0 %	
			향후 3년간 매출	국내 : 50 % 국외 : 0 %	
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : % 국외 : %	
			향후 3년간 매출	국내 : % 국외 : %	
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위			위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위			위

- 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목		성 과		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		3년(추가 R&D)		
	소요예산(백만원)		100		
	예상 매출규모 (억원)		현재까지	3년후	5년후
			0.05	0.5	5
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	5	50	100
		국외	0	0	5
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획					
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	0.05	0.5	5	
	수 출	0	0	5	

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 3-1. 목표

연구개발목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고위해성 과실파리 위기관리 매뉴얼 구축               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 금지급 과실파리 42종의 위해성 분석 및 재등급화</li> <li>- 고위해성 과실파리의 신속 진단 기술 개발</li> <li>- 고위해성 과실파리의 종합관리 기술</li> </ul> </li> </ul>
연구개발내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 침입 과실파리 모니터링 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과실파리 유인제 개발과 상시 모니터링 기술 개발</li> <li>- 고위해성 과실파리 침입 대응 긴급 모니터링 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 고위해성 과실파리 동정 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간이 형태 동정 분류기 개발</li> <li>- DNA 바코드 진단 프로토콜 개발</li> </ul> </li> <li>○ 금지급 과실파리 완전 박멸 방제 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과실파리 불임충방사 기술 개발</li> <li>- 고효율 유인제를 이용한 과실파리 수컷사멸기술 개발</li> </ul> </li> </ul>

#### 3-2. 목표 달성여부

항목	내용	달성 유무
연구개발목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고위해성 과실파리 위기관리 매뉴얼 구축               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 금지급 과실파리 42종의 위해성 분석 및 재등급화</li> <li>- 고위해성 과실파리의 신속 진단 기술 개발</li> <li>- 고위해성 과실파리의 종합관리 기술</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재등급 완료</li> <li>- 분자 신속 진단기술 개발</li> <li>- 모니터링, 동정, 예찰, 방제의 종합관리 기술 개발</li> </ul>
연구개발내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 침입 과실파리 모니터링 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과실파리 유인제 개발과 상시 모니터링 기술 개발</li> <li>- 고위해성 과실파리 침입 대응 긴급 모니터링 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 고위해성 과실파리 동정 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 간이 형태 동정 분류기 개발</li> <li>- DNA 바코드 진단 프로토콜 개발</li> </ul> </li> <li>○ 금지급 과실파리 완전 박멸 방제 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과실파리 불임충방사 기술 개발</li> <li>- 고효율 유인제를 이용한 과실파리 수컷사멸기술 개발</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유인제 개발 및 모니터링 기술 개발</li> <li>- DNA 바코드를 이용한 간이동정 기술 개발</li> <li>- 불임충방사 및 수컷사멸 기술 개발</li> </ul>
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 특허출원 4건, 등록 1건</li> <li>○ SCI급 9편, KCI급 10편</li> <li>○ 금지급 과실파리 관리를 위한 정책제안 12건</li> <li>○ 재등급된 69종 전체 위기대응 매뉴얼 개발</li> </ul>	
기여도	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개발된 위기관리 매뉴얼을 이용한 검역 현장에 적용 및 실행</li> <li>○ 침입한 과실파리의 한국형 박멸프로그램 가동을 통해 국내 농산물 보호</li> </ul>	

#### 3-3. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

해당사항없음

## 4. 연구결과의 활용 계획 등

### (1) 기술이전

본 연구에서 개발된 기술은 수출지원사업기술개발의 일환으로 국내 농산물을 보호하기 위함으로 국경 검역을 담당하는 동식물검역검사본부에 기술이전을 실시하게 된다. 다음은 이러한 기술이전을 위한 연구팀과 검역본부와의 회의일정을 보여주고 있다.

[IPET 기획과제로 진행된 “금지급 과실파리 대처 매뉴얼”의 연구 결과에 대한 농림축산검역본부와 전문가 토론회]

#### 1. 시간 및 장소

1월 22일(수요일) 오후 2시, 농림축산검역검사본부(김천)

#### 2. 주제 발표자 및 내용

발표자	발표제목 과 간략한 발표 내용	발표 시간
한호연	금지급 과실파리 분류 기법	30 분
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 69 종 금지급 과실파리 재등급화 및 동정 기술</li> <li>● 금지급 과실파리 도해집</li> </ul>	
김동순	금지급 과실파리 발생예찰 프로그램	30 분
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 금지급 과실파리의 국내 정착 가능성 및 침입 후 발생 예측 프로그램</li> <li>- 기후변화 예측 프로그램과 69 종 금지급 과실파리</li> <li>- 금지급 과실파리 발생 예찰 엑셀 프로그램</li> </ul>	
김용균	금지급 과실파리 방제 기술	30 분
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 모니터링 기술 및 MAT/FAT/SIT 박멸 기술</li> <li>- 유인제 왁스제형화 및 델타트랩 기술</li> <li>- 암수 성충 유살제 처리 기술</li> <li>- 불임충방사기술</li> </ul>	

※ 이후 토론에 대한 부분은 검역본부에서 순서를 기획합니다.

#### 3. 토론내용

- 금지급 과실파리 목록 재구성
- 금지급 과실파리 발생 예찰 프로그램 운영
- 왁스 제형 금지급 과실파리 유인제
- 금지급 과실파리 후속 연구



## (2) 정책반영

- 금지급 과실파리 목록 재구성

현재 42종의 금지급 과실파리는 69종으로 재편 되고 이를 국내는 물론이고 국제적으로 인정받을 수 있도록 정책에 반영한다.

- 금지급 과실파리 발생 예찰 프로그램 운영

전체 69종에 대한 유인제별 발생예찰 프로그램이 개발되었다. 특히 발생에 대해서는 엑셀파일로 개발되어 사용자 편의로 개발되었다. 이를 실행 부서인 검역검사본부의 위험관리과에서 사용하도록 정책에 반영한다.

- 왁스 제형 금지급 과실파리 유인제

메틸유제놀 및 큐루어에 대한 유인제 방출기로서 왁스제형을 개발하였고, 이를 산업화하였다. 현재 외국 제품을 사용하고 있는 것으로 국산화로 추진하도록 정책에 반영한다

## (3) 기업화 추진 및 산업화

- 과실파리 유인제 방출기

현재 (주) 생물이용연구소에서 생산 및 시판되고 있다. 이를 대량화하여 국내 전체 예찰소에 판매되도록 추진한다.

- 불임충 생산 시설 산업화

유전방제를 위해서는 대단위 생산시설을 갖추어야 한다. 현재 국내 과실파리 대상의 대량 생산 시설을 갖추고 이를 이용한 유전방제를 실시하면서 들어올 금지급 과실파리에 대한 불임충 생산 산업화 시설을 갖추게 된다.

- 암컷유살제 산업화

먹이유인제 기반 스피노사드 살포제는 과실파리 암컷을 대상으로 방제 효과를 거둘 수 있다. 이를 농약으로 등록하고 들어올 금지급 과실파리에 대한 방제 약제로 산업화한다.

## (4) 추가 연구 필요성

- 재구성된 금지급 과실파리의 위해성 평가(risk assessment)
- 금지급 과실파리 발생 예찰 프로그램의 현장 validation
- 호박꽃과실파리 대비 오이과실파리/타우과실파리 특이적 유인제 트랩 개발
- 불임충 대량 생산 및 방사 기술 - 국내 호박꽃과실파리를 대상으로 Mesocosm 방사 실험
- 수컷박멸기술 - 농약 등록화
- 암컷박멸기술 - 농약 등록화
- 번데기박멸기술 - 대량 스크리닝 및 등록화

## 붙임. 참고문헌

[        ]

- Allwood A.J., Chinajariyawong A., Kritsaneepaiboon S., Drew R.A.I., Hamacek E.L., Hancock D.L., Hengsawad C., Jipanin J.C., Jirasurat M., Krong C.K., Leong C.T.S., Vijaysegaran S. 1999. Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Southeast Asia. *Raffles Bulletin of Zoology*. 47(Supplement 7): 1-92.
- Animal and Plant Quarantine Agency, Korea. List of Prohibited Quarantine Pests. <http://www.qia.go.kr> (as of November, 2019). [in Korean]
- Armstrong K.F., Ball S.L. 2005. DNA barcodes for biosecurity: invasive species identification. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360(1462): 1813-1823.
- BOLD Systems. Barcode of Life Data Systems, v.4. <http://www.boldsystems.org/> (as of November, 2019).
- CABI. Invasive Species Compendium, *Bactrocera tryoni* (Queensland fruit fly). <https://www.cabi.org/isc/datasheet/17693> (Last modified on 31 October 2018).
- Carroll L.E., White I.M., Freidberg A., Norrbom A.L., Dallwitz M.J., Thompson F.C. Pest fruit flies of the world, [www.delta-intkey.com/ffa/index.htm](http://www.delta-intkey.com/ffa/index.htm) (as of November, 2019).
- Catalogue of Life. <https://www.catalogueoflife.org/> (as of November, 2019).
- De Meyer M., Delatte H., Mwatawala M., Quilici S., Vayssières J., Virgilio M. 2015. A review of the current knowledge on *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) (Diptera, Tephritidae) in Africa, with a list of species included in *Zeugodacus*. *ZooKeys* 540: 539-557.
- Drew R.A.I., Romig M.C. 2010. Fruit Flies, Biology, Biosecurity, Pest Management, Taxonomy. International Centre for the Management of Pest Fruit Flies. Griffith University, Brisbane, Australia.
- Drew R.A.I., Romig M.C. 2013. Tropical Fruit Flies of South-East Asia. CAB International, Wallingford, UK.
- Han H.Y. 1998. A list of the reported host plants of the tribe Trypetini (Diptera: Tephritidae). *Korean Journal of Entomology* 28(4): 355-368.
- Han H.Y. 2019. Ten species of the subfamily Tephritidae (Insecta: Diptera: Tephritidae) newly recorded in Korea. *Journal of Species Research* 8: 294 - 312.
- Han H.Y., Choi D.S., Ro, K.E. 2017. Taxonomy of Korean *Bactrocera* (Diptera: Tephritidae: Dacinae) with review of their biology. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 20: 1321-1332
- Han H.Y., Kwon Y.J. 2000. Family Tephritidae. *Economic Insects of Korea* 3. *Insecta Koreana Supplement* 10, 113 pp.
- Han H.Y., Ro K.E., 2016. Molecular phylogeny of the superfamily Tephritoidea (Insecta: Diptera) reanalyzed based on expanded taxon sampling and sequence data. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 54: 276 - 288.
- Han H.Y., Ro, K.E. 2018. Discovery of a naturally occurring individual of *Acanthiophilus helianthi* (Rossi) (Diptera: Tephritidae) in Korea, a managed quarantine pest by the Korean Animal and Plant Quarantine Agency. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 21: 1262 - 1267.
- Han, H.Y., Ro, K.E. 2005. Molecular phylogeny of the superfamily Tephritoidea (Insecta: Diptera): new evidence from the mitochondrial 12S, 16S, and COII genes. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 34, 416-430.
- Hancock D.L., Hamacek E.L., Lloyd A.C., Elson-Harris M.M. 2000. The distribution and host plants of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Australia. Department of Primary Industries, Queensland, Information Series Q199067 1-75.
- Kim C.W. 1971. Structure of Diptera, pp. 615-628, In: Kim C.W. et al. (co-authors), *Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea*, Vol. 12, Insecta (IV). Ministry of Education, Korea. [in Korean]
- Kim Y.K., Kim, D.S., Park K.C., Han H.Y. 2017. Security System Manual Against Invasion of High Risk Fruit Flies (I). Hongreung Science Press, Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim Y.K., Kim, D.S., Park K.C., Han H.Y. 2018. Security System Manual Against Invasion of High Risk Fruit Flies (II). Hongreung Science Press, Seoul, Korea. [in Korean]
- Kim Y.K., Kim, D.S., Park K.C., Han H.Y. 2019 (in press). Security System Manual Against Invasion of High Risk Fruit Flies (III). Hongreung Science Press, Seoul, Korea. [in Korean]
- Krivosheina M.G., Ozerova N.A. 2016. To the biology of celery fly *Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Tephritidae) – pest of alien Apiaceae species in Moscow Region. *Russian Entomological Journal* 25: 209-213.
- Leblanc L., Vueti E.T, Drew R.A.I., Allwood A.J. 2012. Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae):

- Dacini) in the Pacific Islands. Proceedings of the Hawaiian Entomological Society 44: 11 -53.
- Liang G.Q., Hancock D.L., Xu, W., Liang, F. 1993. Notes on the Dacinae of southern China (Diptera: Tephritidae). Journal of the Australian Entomological Society 32, 137-140.
- Norrbom A.L., Korytkowski C.A., Zucchi R.A., Uramoto K., Venable G.L., McCormick J., Dallwitz M.J., Anastrepha and Toxotrypana, Descriptions, Illustrations, and Interactive Keys. <https://www.delta-intkey.com/anatox/index.htm>.
- Norrbom, A.L., Carroll, L.E., Thompson, F.C., White, I.M., Freidberg, A., 1999. Systematic database of names. In: Thompson, F.C. (Ed.), Fruit Fly Expert System and Systematic Information Database, Diptera Data Dissemination Disk 1 & Myia. pp. 65 - 251.
- Plant Health Australia. 2016. The Australian Handbook for the Identification of Fruit Flies, version 2.1. Plant Health Australia. Canberra, ACT.
- Schutze M.K., Aketarawong N., Amornsak W., Armstrong K., Augustinos A.A., Barr N., Bo W., Bourtzis K., Boykin L.M., Cáceres C., Cameron S.L., Chapman T.A., Chinvinijkul S., Chomic A., de Meyer M., Drosopoulou E., Englezou A., Ekesi S., Gariou-Papalexioi A., Geib S.M., Hailstones D., Hasanuzzaman M., Haymer D., Hee A.K.W., Hendrichs J., Jessup A., Ji, Q., Khamis F.M., Krosch M.N., Leblanc L., Mahmood K., Malacrida A.R., Mavragani-Tsipidou P., Mwatawala M., Nishida R., Ono H., Reyes J., Rubinoff D., Sanjose M., Shelly T.E., Srichachar S., Tan K., Thannaphum S., Haq I., Vijaysegaran S., Wee S.L., Yesmin F., Zacharopoulou A., Clarke A.R., 2015. Synonymization of key pest species within the *Bactrocera dorsalis* species complex (Diptera: Tephritidae): taxonomic changes based on 20 years of integrative morphological, molecular, cytogenetic, behavioral, and chemoecological data. Systematic Entomology 40: 456-473.
- Vargas R.I., Pinero J.C., Leblanc L. 2015. An overview of pest species of Bactrocera fruit flies (Diptera: Tephritidae) and the integration of biopesticides with other biological approaches for their management with a focus on the Pacific region. Insects 6: 297-318.
- Virgilio M., Jordaens K., Verwimp C., White I.M., De Meyer M. 2015. Higher phylogeny of frugivorous flies (Diptera, Tephritidae, Dacini): Localised partition conflicts and a novel generic classification. Mol. Phylogenet. Evol. 85, 171-179.
- White I.M., Headrick D.H., Norrbom A.L., Carroll I.E. 1999. Glossary. In: Aluja M. & Norrbom A. (eds) Fruit flies (Tephritidae): Phylogeny and Evolution of Behavior. CRC Press, Boca Raton, 881 - 924.
- White, I.M., Elson-Harris, M.M. 1994. Fruit Flies of Economic Significance: Their Identification and Bionomics. CAB International. Oxon, UK. 601 pp.

## [생태분야]

- ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research), 2017. Pacific Pests and Pathogens - Fact Sheets (Accessed on 15 Feb. 2019, [http://www.pestnet.org/fact\\_sheets/fruit\\_flies\\_\\_samoa\\_169.htm](http://www.pestnet.org/fact_sheets/fruit_flies__samoa_169.htm))
- AliNiaze, M.T. 1979. A computerized phenology model for predicting biological events of *Rhagoletis indifferens* (Diptera: Tephritidae). Can. Entomol. 111: 1101-1109.
- Allwood, A.J., A. Chinajariyawong, R.A.I. Drew, E.L. Hamacek, D.L. Hancock, C. Hengsawad, J.C. Jipanin, M. Jirasurat, C. Kong Krong, S. Kritsaeneepaiboon, C.T.S. Leong, and S. Vijaysegaran. 1999. Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae) in South East Asia. Raffles Bull. Zool. Suppl. 7: 1-92.
- Amice, R., Sales, F., 1997. Fruit fly fauna in New Caledonia. In: Allwood AJ, Drew RAI, eds. Management of Fruit Flies in the Pacific. A Regional Symposium, Nadi, Fiji. ACIAR Proceedings, 76: 68-76.
- Baker, A.C., 1944. A review of studies on the Mexican fruitfly and related Mexican species (No. 531). US Department of Agriculture.
- Bellis, G.A., Brito, A.A., Jesus, H.de, Quintao, V., Sarmento, J.C., Bere, A., Rodrigues, J., Ancock, D.L., 2017. A preliminary account of the fruit fly fauna of Timor-Leste (Diptera: Tephritidae: Dacinae). Zootaxa 4362, 421-432.
- Bolzan, A., Nava, D.E., Smaniotta, G., Valgas, R.A., Garcia, F.R.M, 2017. Development of *Anastrepha grandis* (Diptera: Tephritidae) under constant temperatures and field validation of a laboratory model for temperature requirements. Crop Protection 100:38-44.
- CABI and EPPO, 2006af. Data sheets on quarantine pests. *Anastrepha fraterculus*. Prepared by CABI

and EPPO for the EU under Contract 90/399003.  
([https://gd.eppo.int/download/doc/11\\_datasheet\\_ANSTFR.pdf](https://gd.eppo.int/download/doc/11_datasheet_ANSTFR.pdf))

CABI and EPPO, 2006cq. Data sheets on quarantine pests. *Ceratitis quinaria*. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003.  
([https://gd.eppo.int/download/doc/50\\_datasheet\\_CERTQU.pdf](https://gd.eppo.int/download/doc/50_datasheet_CERTQU.pdf))

CABI and EPPO, 2006cr. Data sheets on quarantine pests. *Ceratitis rosa*. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003.  
([https://gd.eppo.int/download/doc/51\\_datasheet\\_CERTRO.pdf](https://gd.eppo.int/download/doc/51_datasheet_CERTRO.pdf))

CABI and EPPO, 2006dc. Data sheets on quarantine pests. *Dacus ciliatus*. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003.  
([https://gd.eppo.int/download/doc/83\\_datasheet\\_DACUCI.pdf](https://gd.eppo.int/download/doc/83_datasheet_DACUCI.pdf))

CABI and EPPO, 2006ec. Data sheets on quarantine pests. *Euphranta canadensis*. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003.  
([https://gd.eppo.int/download/doc/112\\_datasheet\\_EPOCCA.pdf](https://gd.eppo.int/download/doc/112_datasheet_EPOCCA.pdf))

CABI and EPPO, 2006rc. Data sheets on quarantine pests. *Rhagoletis completa*. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003.  
([https://gd.eppo.int/download/doc/226\\_datasheet\\_RHAGCO.pdf](https://gd.eppo.int/download/doc/226_datasheet_RHAGCO.pdf))

CABI and EPPO, 2006ri. Data sheets on quarantine pests. *Rhagoletis cingulata* and *Rhagoletis indifferens*. Prepared by CABI and EPPO for the EU under Contract 90/399003.  
([https://gd.eppo.int/download/doc/899\\_ds\\_RHAGIN\\_en.pdf](https://gd.eppo.int/download/doc/899_ds_RHAGIN_en.pdf))

CABI, 2017baq. *Bactrocera aquilonis*, Data Sheet (Last modified 22 June 2017;  
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/8694>).

CABI, 2017bc. *Bactrocera caryae*, Data Sheet (Last modified 22 June 2017;  
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/8699>).

CABI, 2017bf. *Bactrocera facialis*, Data Sheet (Last modified 05 December 2017).

CABI, 2017bfr. *Bactrocera frauenfeldi* (mango fruit fly), Data Sheet (Last modified 05 December 2017).

CABI, 2017bj. *Bactrocera jarvisi* (Jarvis' fruit fly) Data Sheet (Last modified 30 November 2017).

CABI, 2017bki. *Bactrocera kirki* Data Sheet (Last modified 31 October 2019).

CABI, 2017bp. *Bactrocera psidii* (South Sea guava fruit fly), Data Sheet (Last modified 05 December 2017).

CABI, 2018ase. *Anastrepha serpentina* (sapodilla fruit fly), Data Sheet (Last modified 27 September 2018).

CABI, 2018ast. *Anastrepha striata* (guava fruit fly), Data Sheet (Last modified 27 September 2018).

CABI, 2018bol. *Bactrocera oleae* (olive fruit fly), Data Sheet (Last modified 08 November 2018;  
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/17689>).

CABI, 2018cq. *Ceratitis quinaria* (five-spotted fruit fly), Data Sheet (Last modified 27 September 2018;  
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/12377>).

CABI, 2018cr. *Ceratitis rosa* (Natal fruit fly), Data Sheet (Last modified 8 November 2018;  
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/12378>).

CABI, 2018eh. *Euleia heraclei* (celery fly), Data Sheet (Last modified 14 July 2018;  
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/23159>).

CABI, 2018rf. *Rhagoletis fausta* (black cherry fruit fly) , Data Sheet (Last modified 4 July 2018).

CABI, 2018rm. *Rhagoletis mendax* (blueberry fruit fly), Data Sheet (Last modified 4 July 2018).

CABI, 2019af. *Anastrepha fraterculus* (South American fruit fly), Data Sheet (Last modified 31 October 2019).

CABI, 2019ag. *Anastrepha grandis* (South American cucurbit fruit fly), Data Sheet (Last modified 31 October 2019).

CABI, 2019al. *Anastrepha ludens* (Mexican fruit fly), Data Sheet (Last modified 31 October 2019).

CABI, 2019asu. *Anastrepha suspensa* (Caribbean fruit fly), Data Sheet (Last modified 31 October 2019).

CABI, 2019bm. *Bactrocera musae* (banana fruit fly), Data Sheet (Last modified 7 January 2019;  
<https://www.cabi.org/isc/datasheet/8725>).

CABI, 2019bp. *Bactrocera passiflorae* (Fijian fruit fly), Data Sheet (Last modified 31 October 2019).

- CABI, 2019dc. *Dacus ciliatus* (lesser pumpkin fly), Data Sheet (Last modified 22 March 2019; <https://www.cabi.org/isc/datasheet/17682>).
- CABI, 2019rc. *Rhagoletis completa* (walnut husk fly), Data Sheet (Last modified 1 November 2011).
- CABI, 2019rci. *Rhagoletis cingulata* (cherry fruit fly), Data Sheet (Last modified 1 November 2011).
- Cameron, E.C., Sved, J.A., Gilchrist, A.S. 2009. Pest fruit fly (Diptera: Tephritidae) in northwestern Australia: one species or two? *Bulletin of Entomological Research* 14, 1-10.
- Carroll, L.E., Norrbom, A.L., Dallwitz, M.J., Thompson, F.C., 2004 onwards. Pest fruit flies of the world - larvae. Version: 9th April 2019. ([delta-intkey.com](http://delta-intkey.com))
- Carroll, L.E., White, I.M., Freidberg, A., Norrbom, A.L., Dallwitz, M.J., Thompson, F.C., 2002. Pest fruit flies of the world, *Bactrocera melas* (Perkins & May). Version: 2nd April 2019. [delta-intkey.com](http://delta-intkey.com) ([https://www.delta-intkey.com/ffa/www/bac\\_me%27s.htm](https://www.delta-intkey.com/ffa/www/bac_me%27s.htm)).
- C DFA (California Department of Food and Agriculture). N.D. White striped fruit fly pest profile. (Accessed on 9 September at [https://www.cdfa.ca.gov/plant/pdep/target\\_pest\\_disease\\_profiles/white\\_striped\\_ff\\_profile.html](https://www.cdfa.ca.gov/plant/pdep/target_pest_disease_profiles/white_striped_ff_profile.html))
- Celedonio-Hurtado, H., Aluja, M., Liedo, P., 1995. Adult population fluctuations of *Anastrepha* species (Diptera: Tephritidae) in tropical orchard habitats of Chiapas, Mexico. *Environmental Entomology*, 24, 861-869.
- Christenson LD, Foote RH, 1960. Biology of fruit flies. *Annual Review of Entomology*, 5:171-192.
- Clare, G.K., 1997. Rearing of *Bactrocera melanotus* and *B. xanthodes* (Diptera: Tephritidae) for postharvest disinfestation research. *New Zealand Journal of Zoology* 24, 193-198.
- CROVETTI A., QUAGLIA F., LOI G., ROSSI E., MALFATTI P., CHESI F., CONTI B., BELCARI A., RASPI A., PAPARATTI B., 1982. Influence of temperature and humidity on the development of the immature stages of *Dacus oleae* (Gmelin). *Frustrula Entomologica*, 5: 133-166.
- Daniel, C. 2014. Experiences of integrated management of European cherry fruit fly (*Rhagoletis cerasi*) and how to utilize this knowledge for sea buckthorn fly. 3rd European Workshop on Sea Buckhorn, EuroWorks 2014. October 14-16, 2014, Naantali, Finland. 2014, October.
- Daniel, C., and J. Grunder. 2012. Integrated management of European cherry fruit fly *Rhagoletis cerasi* (L.): Situation in Switzerland and Europe. *Insects* 3(4):956-988.
- Dias, N. P., Ongaratto, S., Garcia, M.S., Nava, D.E., 2017. Oviposition of *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Citrus Fruits, and Development in Relation to Maturity of Orange Fruits. *Florida Entomologist* 100, 468-473.
- Dias, N.P., Ongaratto, S., Garcia, M.S., Nava, D.E., 2017. Oviposition of *Anastrepha fraterculus* and *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) in Citrus Fruits, and Development in Relation to Maturity of Orange Fruits. *Florida Entomologist*, 100, 468-473.
- Dominiak, B.C., Worsley, P., 2017. Review of the southern boundary of Jarvis fruit fly '*Bactrocera jarvisi*' (Tyron) (Diptera: Tephritidae: Dacinae) and its likely southern distribution in Australia [online]. *General and Applied Entomology: The Journal of the Entomological Society of New South Wales* 45, 1-7.
- Doorenweerd, C., Leblanc, L., Norrbom, A.L., Jose, M.S., Rubinoff, D., 2018. A global checklist of the 932 fruit fly species in the tribe Dacini (Diptera, Tephritidae). *Zookeys* 730, 19-56.
- DPIPWE, 2011. Review of Import Requirements for fruit fly host produce from mainland Australia, Version 5.0. Biosecurity Technical Group in Department of Primary Industries, Parks, Water and Environment, Tasmania.
- Drew, R.A.I. 1989. The tropical fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae) of the Australasian and Oceanian regions. *Memoirs of the Queensland Museum*. Volume 26. 521 pp. (Description and illustration).
- Drew, R.A.I. and Romig, M.C., 1997, December. Overview-Tephritidae in the Pacific and Southeast Asia. In *ACIAR PROCEEDINGS* (pp. 46-53). Australian Centre for International Agricultural Research.
- Drew, R.A.I., Romig, M.C., 2013. Tropical Fruit Flies (Tephritidae Dacinae) of South-East Asia: Indomalaya to Australasia. CABI International, London, UK.
- Drew, R.A.I., Zalucki, M.P., Hopper, G.H.S., 1984. Ecological studies of eastern Australian fruit flies (Diptera: Tephritidae) in their endemic habitat I. Temporal variation in abundance. *Oecologia* 64, 267-272.

- Duyck, P.F., Quilici, S., 2002. Survival and development of different life stages of three *Ceratitidis* spp. (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Bulletin of Entomological Research* 92, 461-469.
- Ekesi, S., Mohamed, S., De Meyer, M. (Eds.), 2016. *Fruit Fly Research and Development in Africa – Towards a Sustainable Management Strategy to Improve Horticulture*. Springer International Publishing, Switzerland.
- El Nahal, A.K.M., Azab, A.K., Swailem, S.M., 1971. Studies on the biology of the melon fruit fly, *Dacus ciliatus* Loew (Diptera:Trypanaeidae). *Bulletin de la Societe Entomologique d’Egypte*, 54, 231-241.
- Emery, S., Mills, N., 2019. Effects of temperature and other environmental factors on the post-diapause development of walnut husk fly *Rhagoletis completa* (Diptera: Tephritidae). *Physiological Entomology* 44, 33-42.
- Enkerlin D; Garcia RL; Lopez MF, 1989. Pest status; Mexico, Central and South America, In: Robinson AS, Hooper G, eds. *Fruit Flies; Their Biology, Natural Enemies and Control*. *World Crop Pests*, 3(3A):83-90. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2019cp. EPPO Alert List: *Myiopardalis pardalina* (Diptera: Tephritidae), Baluchistan melon fly.(Accessed on 2 October, 2019 at [https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant\\_quarantine/alert\\_list\\_insects/myiopardalis\\_pardalina](https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/alert_list_insects/myiopardalis_pardalina))
- EPPO Reporting Service, 2013. Pests and Diseases Outbreaks of *Myiopardalis pardalina* (Baluchistan melon fly) in Central Asia: addition to the EPPO Alert List, 128
- EPPO, 2015. EPPO Technical Document No. 1068, EPPO Study on Pest Risks Associated with the Import of Tomato Fruit.
- Fabre F; Ryckewaert P; Duyck PF; Chiroleu F; Quilici S, 2003. Comparison of the efficacy of different food attractants and their concentration for melon fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, 96(1):231-238.
- Fay, H.A.C. 2012. A highly effective and selective male lure for *Bactrocera jarvisi* (Tryon) (Diptera: Tephritidae). *Australian Journal of Entomology* 51, 189-197.
- Fetoh BEA, 2006. Occurrence, distribution and biology of the pumpkin fruit fly, *Dacus ciliatus* Loew (Diptera: Tephritidae) as re-appearing pest in Egypt. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 84(1):11-16.
- Fischer-Colbrie, P. and Busch-Petersen, E., 1989. Temperate Europe and west Africa, In: Robinson AS, Hooper G, eds. *Fruit Flies; Their Biology, Natural Enemies and Control*. *World Crop Pests*, 3(3A):91-99. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Foote RH; Blanc FL; Norrbom AL, 1993. *Handbook of the Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) of America North of Mexico*. Ithaca, USA: Comstock.
- Fprabhakar, C.S., Sood, P., Mehta, P.K., Choudhary, A., 2007. Fruit fly, *Bactrocera scutellaris* (Bezzi): a potential threat to cucurbit cultivation under low and mid hills of Himachal Pradesh. *Pest Management and Economic Zoology* 15, 181-185.
- Genç, H., Nation, J.L., 2008. Survival and development of *Bactrocera oleae* Gmelin (Diptera:Tephritidae) immature stages at four temperatures in the laboratory. *African Journal of Biotechnology* 7, 2495-2500.
- Glover, M.M., Egan, S.P., Hood, G.R., Rull, J., Aluja, M., Feder, J.L., 2018. Phylogeography of Walnut-Infesting *Rhagoletis suavis* (Diptera: Tephritidae) Flies. *Insect Systematics and Diversity* 2, 1-9.
- Hancock DL, Hamacek EL, Lloyd AC, Elson-Harris MM. 2000. The distribution and host plants of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Australia: Department of Primary Industries, Queensland; 1-75 p.
- Hancock, D.L. (1989) Pest status; southern Africa. In: *World crop pests 3(A)*. Fruit flies; their biology,, natural enemies and control (Ed. by Robinson, A.S.; Hooper, G.), pp. 51-58. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
- Harris, E. J., 1989. Hawaiian islands and North America, In: Robinson AS, Hooper G, eds. *Fruit Flies; Their Biology, Natural Enemies and Control*. *World Crop Pests*, 3(3A):73-81. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

- Hill, D.S., 1987. *Agricultural Insect Pests of Temperate Regions and Their Control*. Cambridge University Press, New York, USA.
- IAEA (International Atomic Energy Agency), 2003. Trapping guidelines for area-wide fruit fly programmes. Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna, Austria.
- Imelda, M.M., Hernández-Ortiz, V., Rodrigo, L.L., 1995. Development and sexual maturation in *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae). *Acta Zoologica Mexicana* 65, 75–88.
- Jones, V.P., D.G. Alston, J F. Brunner, D.W. Davis and M.D. Shelton. 1991. Phenology of the western cherry fruit fly (Diptera: Tephritidae) in Utah and Washington. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 84: 488–492.
- Joubert, E., Grové, T., Booyesen, G., 2015. Evaluation of Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Monitoring Systems on Mango in Limpopo Province, South Africa. *Journal of Agricultural Science and Technology B* 5, 653–663.
- Jubb GL Jr; Cox JA, 1974. Seasonal emergence of two cherry fruit fly species in Erie County, Pennsylvania: 25-year summary. *Journal of Economic Entomology*, 67(5):613–615.
- Judd, G.J.R., Whitfield, G.H., Maw, H.E.L., 1991. Temperature-Dependent Development and Phenology of Pepper Maggots (Diptera: Tephritidae) Associated with Pepper and Horsenettle. *Environmental Entomology* 20, 22–29.
- Kapoor, V.C., 2005. Taxonomy and biology of economically important fruit flies of India. *Israel Journal of Entomology*, 35(36), pp.459–475.
- Kasana, A., AliNiasee, M.T., 1994. Effect of constant temperatures on development of the walnut husk fly, *Rhagoletis completa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 73, 247–254.
- Khanh, L., Tuu, D., Hien, N.T.T., Toan, T., Trang, V., Thong, P. Thanh, V., Thang, D., 2008. Fruit flies and their control by using protein bait. In *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Vietnam National Conference on Entomology 11–12 April 2008*, Hanoi, Vietnam.
- Khanh, L.D., Hien, N.T.T., Trang, V.T., Toan, T.T., Rull, J., 2014. Basic biology and artificial rearing of *Bactrocera pyrifoliae* (Diptera: Tephritidae), a pest of peaches and plums in northern Vietnam. *International Journal of Tropical Insect Science* 34, S148–S153.
- KOVEOS D. S., TZANAKAKIS M. E., 1990. Effect of the presence of olive fruit on ovarian maturation in the olive fruit fly, *Dacus oleae*, under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 55: 161–168.
- Krivosheina, M.G., and Ozerova, N.A., 2013. To the biology of celery fly *Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Tephritidae) – pest of alien Apiaceae species in Moscow Region. *Russian Entomol. J.* 25, 209–213.
- Krosch, M.N., Schutze, M.K., Armstrong, K.F., Graham, G.C., Yeates, D.K., Clarke, A.R., 2012. A molecular phylogeny for the Tribe Dacini (Diptera: Tephritidae): systematic and biogeographic implications. *Mol Phylogenet Evol.* 64, 513–523.
- Leblanc, L., Amice, R., 2000. Fruit flies in New Caledonia. *Pest Advisory Leaflet No. 26*. Secretariat of the Pacific Community.
- Leblanc, L., Balagawi, S., Mararuai, A., Putulan, D., Tenakanai, D., Clarke, A.R., 2001. Fruit flies in New Caledonia. *Pest Advisory Leaflet No. 37*. Secretariat of the Pacific Community.
- Leblanc, L., Hollingsworth, R. 1997. Rate of development of immature stages of *Bactrocera frauenfeldi* in papayabased diet. pp.164–167 in: Allwood, A.J., and Drew, R.A I., *Management of fruit flies in the Pacific*. ACIAR Proceedings No 76. 267pp.
- Leblanc, L., Hossain, M.A., Khan, S.A., Jose, M.S., Rubinoff, D., 2013a. A Preliminary Survey of the Fruit Flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae) of Bangladesh. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* 45, 51–58.
- Leblanc, L., Jose, M.S., Barr, N., Rubinoff, D., 2015. A phylogenetic assessment of the polyphyletic nature and intraspecific color polymorphism in the *Bactrocera dorsalis* complex (Diptera, Tephritidae). *Zookeys* 540, 339–367.
- Leblanc, L., Vueti, E.T., Allwood, A.J., 2013b. Host Plant Records for Fruit Flies (Diptera: Tephritidae: Dacini) in the Pacific Islands: 2. Infestation Statistics on Economic Hosts. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* 45, 83–117.
- Leblanc, L., Vueti, E.T., Richard, A.I., Allwood, A.J., 2012. Host Plant Records for Fruit Flies

- (Diptera: Tephritidae: Dacini) in the Pacific Islands. Proceedings of the Hawaiian Entomological Society 44, 11–53.
- Leblanc, L., William, J.O.N.A.H. and Allwood, A.J., 2004. Host Fruit of Mango Fly (*Bactrocera frauenfeldi* (Schiffner))(Diptera: Tephritidae) in the Federated States of Micronesia. *Micronesica*, 37(1), pp.21–31.
- Lesne, P. 1913. La mouche de l'asperge aux environs de Paris. *Ann. Serv. Epiphyt.* 1, 228–247.
- Leweniqila, L., Heimoana, V., Porea, M., Munro, L., Allwood, A.J., Ralulu, L., and Tora Vueti, E. (1997). Seasonal abundances of *Bactrocera facialis* (Coquillet), *B. passiflorae* (Froggatt), *B. xanthodes* (Broun), *B. melanotus* (Coquillet) in orchard and forest habitats. In *Management of Fruit Flies in the Pacific*, A.J. Allwood, and R.A.I. Drew, eds. (Canberra: ACIAR), p. 121–124.
- Leyva-Vazquez, J. L. 1988. Temperatura umbral y unidades calor requeridas por los estados inmaduros de *Anastrepha ludens* (Loew) (Diptera: Tephritidae). *Folia Entomol. Mexicana* 74: 189–196.
- Liedo, P.F., J.R. Carey, H. Celedonio-Hurtado, & J. Guillen-Aguilar. 1993. Demography of *Anastrepha* fruit flies: a case study of three species of economic importance, p. 119–124. In M. Aluja & P. Liedo (eds.). *Fruit flies: Biology and management*. Springer-Verlag, New York.
- Lim, P.-E., Tan, J., Suana, I.W., Eamsobhana, P., Yong, H.S., 2012. Distinct Genetic Lineages of *Bactrocera caudata* (Insecta: Tephritidae) Revealed by COI and 16S DNA Sequences. *PLoS ONE* 7(5): e37276. doi:10.1371/journal.pone.0037276.
- Margosian, M.L., Bertone, C.A., Borchert, D.M. and Takeuchi, Y., 2007. Identification of areas susceptible to the establishment of fifty-three *Bactrocera* spp. (Diptera: Tephritidae: Dacinae) in the United States. California: USDA Report Publication.
- May, A.W.S., 1963. An investigation of fruit flies (Trypetidae: Diptera) in Queensland. *Queensland Journal of Agricultural Science*, 20, 1–82.
- Nair, N., Bhattacharjee, T., Thangjam, B.C., Giri, U., Debnath, M.R., 2018. Species diversity of Dacine fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae: Dacini) in Tripura, N.E. India. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 6, 297–302.
- Nair, N., Thangjam, B.C., Bhattacharjee, T., Debnath, M.R., 2017. Species composition of Dacine fruit flies (Diptera: Tephritidae: Dacinae: Dacini) associated with Cucurbits in Tripura, a North Eastern state of India. *India. Journal of Entomology and Zoology Studies* 5, 330–335.
- Nakahara, S., Muraji, M., 2008. Phylogenetic analyses of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) based on nucleotide sequences of the mitochondrial COI and COII genes. *Res. B. Plant Prot. Jpn.* 44, 1–12.
- NAPPO (North American Plant Protection Organization). 2009. Phytosanitary Alert System. Outbreak of *Anastrepha grandis* (South American cucurbit fruit fly) in Panama. (<http://www.pestalert.org/viewNewsAlert.cfm?naid476>) (accessed 5 October 2019).
- NBN Atlas Partnership, 2017. *Euleia heraclei* (Linnaeus, 1758). [https://records.nbnatlas.org/occurrences/search?q=lsid:NBNSYS0000012861#tab\\_recordsView](https://records.nbnatlas.org/occurrences/search?q=lsid:NBNSYS0000012861#tab_recordsView)
- NSWG (New South Wales Government), 2019. Insect keys: Key to Fruit Flies of New South Wales. Department of Primary Industries (Biosecurity Collections). Accessed on 1 October 2019 at <https://www1.dpi.nsw.gov.au/keys/fruitfly/bancroft.htm>
- OEPP/EPPO, 2011. *Rhagoletis completa*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 41, 357–362.
- PBCRC (Plant Biosecurity Cooperative Research Centre), 2019bj. Fruit Fly Identification Australia: *Bactrocera jarvisi*. Accessed on 30 September at <https://fruitflyidentification.org.au/species/bactrocera-jarvisi/>
- PBCRC (Plant Biosecurity Cooperative Research Centre), 2019bk. Fruit Fly Identification Australia: *Bactrocera kraussi*. Accessed on 30 September at <https://fruitflyidentification.org.au/species/bactrocera-kraussi/>
- PBCRC (Plant Biosecurity Cooperative Research Centre), 2019bo. Fruit Fly Identification Australia: *Bactrocera occipitalis*. Accessed on 30 September, 2019 at <https://fruitflyidentification.org.au/species/bactrocera-occipitalis/>
- PBCRC (Plant Biosecurity Cooperative Research Centre), 2019bt. Fruit Fly Identification Australia: *Bactrocera trilineola* (Vanuatu fruit fly). Accessed on 11 October 2019 at <https://fruitflyidentification.org.au/species/bactrocera-trilineola/>



- PBCRC (Plant Biosecurity Cooperative Research Centre), 2019btu. Fruit Fly Identification Australia: *Bactrocera tuberculata*. Accessed on 1 October, 2019 at <https://fruitflyidentification.org.au/species/bactrocera-tuberculata/>
- PBCRC (Plant Biosecurity Cooperative Research Centre), 2019za. Fruit Fly Identification Australia: *Zeugodacus atrisetosus*. Accessed on 5 October, 2019 at <https://fruitflyidentification.org.au/species/zeugodacus-atrisetosus/>
- PETACCHI R., MARCHI S., FEDERICI S., RAGAGLINI G., 2015. Large-scale simulation of temperature-dependent phenology in wintering populations of *Bactrocera oleae* (Rossi). *Journal of Applied Entomology*, 139: 496-509.
- Piper, R., Pereira, R., Hendrichs, J., Enkerlin, W., De Meyer, M., 2017. A Guide to the Major Pest Fruit Flies of the World. Scientific Advisory Services Pty Ltd. IAEA/FAO.
- Pitkin D., Ellis W., Plant C., Edmunds R. 2016. The leaf and stem mines of British flies and other insects. Version: 13th February 2016. <http://www.ukflymines.co.uk/index.php/>, accessed on 22 April 2016.
- Plant Health Australia, 2018. The Australian Handbook for the Identification of Fruit Flies. Plant Health Australia. ver. 3.1. 162p.
- PNEP (A Pacific Northwest Extension Publication), 2019. Currant and gooseberry-Currant fruit fly (gooseberry maggot) <https://pnwhandbooks.org/insect/small-fruit/currant-gooseberry/currant-gooseberry-currant-fruit-fly-gooseberry-maggot>; Bouska, C., Edmunds, B., Bell, N., 2019. Small Fruit Crops. Pest Management Handbooks, A Pacific Northwest Extension Publication)
- Putruele, M.T.G., 1996. Hosts for *Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus* in the northeastern province of Entre Rios, Argentina, In: McPheron, B.A. and Steck, G.J., eds. Fruit fly pests: a world assessment of their biology and management, 343-345. St. Lucie Press, Delray Beach, FL.
- QFFRL (Queensland Fruit Fly Research Laboratory), N.D. Does *Bactrocera aquilonis* exist? University of New South Wales, Sydney. (Accessed on 9 September at <https://qffrl.wordpress.com/research-project-5>)
- Raghu, S., Clarke, A.R., 2001. Distribution and abundance of *Bactrocera bryoniae* (Tryon) in three different habitat-types in South-East Queensland, Australia. *International Journal of Ecology and Environmental Science* 27, 179-183.
- Raghu, S., Clarke, A.R., Drew, R.A.I., Hulsman, K., 2000. Impact of habitat modification on the distribution and abundance of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Southeast Queensland. *Population Ecology* 42, 153-160.
- Ramirez-Cruz A, Hernandez-Ortiz V, Martinez MI, 1996. Maduracion ovarica en la 'Mosca de la Guyaba' *Anastrepha striata* Schiner (Diptera: Tephritidae). *Acta Zoologica Mexicana*, 69:105-116.
- Reulet, P. 1991. Asperge: La situation phytosanitaire 1990. *Phytoma-La Defense des Cultures* 427, 43-46.
- Royer, J.E., 2015. Responses of fruit flies (Tephritidae: Dacinae) to novel male attractants in north Queensland, Australia, and improved lures for some pest species. *Austral Entomology* 54, 411-426.
- Royer, J.E., 2015. Responses of fruit flies (Tephritidae: Dacinae) to novel male attractants in north Queensland, Australia, and improved lures for some pest species. *Austral Entomology* 54, 411-426.
- Royer, J.E., Agovaua, S., Bokosou, J., Kurika, K., Mararuai, A., Mayer, D.G., Niangu, B., 2018. Responses of fruit flies (Diptera: Tephritidae) to new attractants in Papua New Guinea. *Austral Entomology* 57, 40-48.
- Royer, J.E., Mille, C., Cazerres, S., Brinon, J., Mayer, D.G., 2019. Isoeugenol, a More Attractive Male Lure for the Cue-Lure-Responsive Pest Fruit Fly *Bactrocera curvipennis* (Diptera: Tephritidae: Dacinae), and New Records of Species Responding to Zingerone in New Caledonia. *Journal of Economic Entomology* 112, 1502-1507.
- Satarkar, V.R., Krishnamurthy, S.V., Faleiro, J.R., Verghese, A., Ramesh, R., Kumar, J.A., N.D. Ecology and Sustainable Management of Major *Bactrocera* Fruit Flies in Goa, India. Personal Contents.
- Shiao, S.-F., 2019. Species Checklist of *Zeugodacus* (DIPTERA: TEPHRITIDAE: DACINI) in

- Taiwan. Formosan Entomol. 39: 36–45 (2019)
- Silva FFD, Redaelli LR, Meirelles RN, Dal Soglio FK. 2014. Danos de moscas-dasfrutas (Diptera, Tephritidae) em citros, manejados no sistema orgânico de produção. Revista Ceres 61, 637–642.
- Singh, M., Gupta, D., Sharma, D., 2013. *Bactrocera scutellaris* (Bezzi) – a dominant fruit fly species in vegetable fields in mid hills of Himachal Pradesh. Insect Environment 19, 137–139.
- Smith, E.S.C. 1977. Studies on the biology and commodity control of the banana fruit fly, *Dacus musae* (Tryon) in Papua New Guinea. Papua New Guinea Agriculture Journal. 28: 47–56.
- Song, Y., L.B. Coop, M. Omeg and H. Riedl. 2003. Development of a Phenology Model for Predicting Western Cherry Fruit Fly, *Rhagoletis indifferens* Curran (Diptera: Tephritidae), Emergence in the Mid Columbia Area of the Western United States. Journal of Asia-Pacific Entomology 6(2) : 187–192.
- Sparks, A.S. Jr., Rile, D. G., 2007. *Zonosemata electa*. Center for Invasive Species and Ecosystem Health at the University of Georgia (<https://www.bugwood.org/>). (Last modified 20 December 2007)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013ba. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera atrisetosa* (Perkins). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-atrisetosa-perkins>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bal. ????
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bb. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera bryoniae* (Tryon). (Updated at 17 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-bryoniae-tryon>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bcu. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera curvipennis* (Froggatt). (Updated at 17 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-curvipennis-froggatt>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bd. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera decipiens* (Drew): Pumpkin fruit fly. (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-decipiens-drew-pumpkin-fruit-fly>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bf. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera facialis* (Coquillett). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-facialis-coquillett>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bfr. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera frauenfeldi* (Schiner) – Mango fly. (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-frauenfeldi-schiner-mango-fly>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bki. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera kirki* (Froggatt). (Updated at 17 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-kirki-froggatt>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bm. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera musae* (Tryon) – BANANA FLY. (Updated at 17 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-musae-tryon-banana-fly>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bme. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera melanotus* (Coquillett). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-melanotus-coquillett>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bo. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera occipitalis* (Bezzi). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-occipitalis-bezzi>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bp. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera psidii* (Froggatt). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-psidii-froggatt>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bpa. *Bactrocera passiflorae* (Froggatt), Pacific Fruit Fly Project. SPC Land Resources Division. (Last modified on 21 January 2013, <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-passiflorae-froggatt>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bs. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera strigifinis* (Walker). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-strigifinis-walker>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bt. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera trilineola* (Drew). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-trilineola-drew>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013btr. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera trivialis* (Drew). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/bactrocera-trivialis-drew>)
- SPC (SPC Land Resources Division), 2013bx. Pacific Fruit Fly Project, *Bactrocera xanthodes* (Broun). (Updated at 21 January 2013 on

<https://lrd.spc.int/species/bactrocera-xanthodes-broun-pacific-fruit-fly>)

- SPC (SPC Land Resources Division), 2013ds. Pacific Fruit Fly Project, *Dacus solomonensis* (Malloch). (Updated at 21 January 2013 on <https://lrd.spc.int/species/dacus-solomonensis-malloch>)
- Spishakoff, L.M., 1966. Laboratory rearing of *Anastrepha serpentina*. Journal of Economic Entomology 59, 1010-1011.
- STFS (Seattle Tree Fruit Society), 2019. Currant Fruit Fly (*Euphranta canadensis*), A Facebook Content. STFF, A Chapter of the Western Cascade Fruit Society. (Accessed on 5 October 2019 at <https://www.seattletreefruitsociety.com/maggot-barriers>)
- Stonehouse, J., Sadeed, S.M., Harvey, A., Haiderzada, G.S., 2006. *Myiopardalis pardalina* in Afghanistan. Proceedings of the 7th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance, 10-15 September 2006, Salvador, Brazil.
- Teixeira, L.A.F., Polavarapu, S., 2005a. Diapause Development in the Blueberry Maggot *Rhagoletis mendax* (Diptera: Tephritidae). Environ. Entomol. 34(1): 47-53.
- Teixeira, L.A.F., Polavarapu, S., 2005b. Evidence of a Heat-Induced Quiescence During Pupal Development in *Rhagoletis mendax* (Diptera: Tephritidae). Environ. Entomol. 34(2): 292-297.
- Thibout, E., Pierre, D., Mondy, N., Lecomte, C., Biémont, J.C., Auger, J., 2005. Host-plant finding by the asparagus fly, *Plioreocepta poeciloptera* (Diptera: Tephritidae), a monophagous, monovoltine tephritid. Bull Entomol Res. 95, 393-399.
- TSITSIPIS J. A., 1984.- Exodus of olive fly larvae, *Dacus oleae*, from diet for pupation as affected by photoperiod, pp. 89-93. In: Proceedings of the CEC/IOBC "Fruit flies of economic importance" (CAVALLORO R., Ed.), Hamburg, Germany.
- TSITSIPIS J. A., LOHER W. J., 1987. Circadian rhythmical exodus of olive fruit fly larvae from the diet for pupation, pp. 203-209. In: *Fruit flies of economic importance* (CAVALLOROR. Ed.). CRC Press, Rome, Italy.
- TZANAKAKIS M. E., KOVEOS D. S., 1986. Inhibition of ovarian maturation in the olive fruit fly, *Dacus oleae* (Diptera: Tephritidae), under long photophase and an increase of temperature. Annals of the Entomological Society of America, 79: 15-18.
- USDA/APHIS, 2016. *Anastrepha ludens*, Mexican fruit fly host list, 2016. Fruit Fly Host Lists and Host Assessments. (Laast modified 13 September 2019; <https://www.aphis.usda.gov/>)
- USDA/APHIS, 2018ast. New World Guava Fruit Fly, *Anastrepha striata*, Host List, Fruit Fly Host Lists and Host Assessments. (Laast modified 13 September 2019; <https://www.aphis.usda.gov/>)
- USDA/APHIS, 2018rc. European Cherry Fruit Fly, *Rhagoletis cerasi*, Host List 2018, Fruit Fly Host Lists and Host Assessments. (Laast modified 13 September 2019; <https://www.aphis.usda.gov/>)
- Vargas, R.I., Piñero, .C., Leblanc, L., 2015. An Overview of Pest Species of Bactrocera Fruit Flies (Diptera: Tephritidae) and the Integration of Biopesticides with Other Biological Approaches for Their Management with a Focus on the Pacific Region. Insects. 6, 297-318.
- Vayssières, J.-F., Sinzogan, A., Aimé, B.-G., N.D. Fruit flies of the *Ceratitis* genus in West Africa. Regional Control Fruit Fly Project in West Africa, CIRAD.
- Vuttanatungum, A., Hooper, G.H.S., 1974. Biology and chemical sterilization of the fruit fly *Dacus cucumis* French (Diptera: Tephritidae). J. Aust. Entomol. Soc. 13, 169-178.
- Walker, K., 2005. Fruit Fly (*Bactrocera trivialis*) Updated on 10/21/2011 9:31:11 AM Available online: PaDIL - <http://www.padil.gov.au>.
- Wang, Y., Yu H., Raphael, K., Gilchrist, A.S., 2003. Genetic delineation of sibling species of the pest fruit fly Bactocera Diptera: Tephritidae in Australia using microsatellites. Bulletin Of Entomological Research 93, 351-360.
- Weems Jr, H.V., 2001ag. Mexican fruit fly, *Anastrepha ludens* (Loew) (Insecta: Diptera: Tephritidae). ([http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/anastrepha\\_grandis.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/anastrepha_grandis.htm))
- Weems Jr, H.V., 2001al. Mexican fruit fly, *Anastrepha ludens* (Loew) (Insecta: Diptera: Tephritidae). ([https://entomology.ifas.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/mexican\\_fruit\\_fly.htm](https://entomology.ifas.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/mexican_fruit_fly.htm))
- Weems Jr, H.V., 2001ase. Sapote fruit fly, *Anastrepha serpentina* (Wiedemann) (Insecta: Diptera: Tephritidae). ([http://www.entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/sapote\\_fruit\\_fly.htm](http://www.entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/sapote_fruit_fly.htm))
- Weems Jr, H.V., 2001asu. Caribbean fruit fly, *Anastrepha suspensa* (Loew) (Insecta: Diptera: Tephritidae). ([http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/caribbean\\_fruit\\_fly.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/caribbean_fruit_fly.htm))
- Weems Jr, H.V., 2001asy. Guava fruit fly, *Anastrepha striata* Schiner (Insecta: Diptera: Tephritidae)

- (Insecta: Diptera: Tephritidae). ([http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/a\\_striata.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/a_striata.htm))
- Weems Jr, H.V., 2001rci. Cherry fruit fly, *Rhagoletis cingulata* (Loew) (Insecta: Diptera: Tephritidae). ([http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/cherry\\_fruit\\_fly.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/tropical/cherry_fruit_fly.htm))
- Weems Jr, H.V., 2001rm. Blueberry maggot, *Rhagoletis mendax* Curran (Insecta: Diptera: Tephritidae). ([http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/blueberry\\_maggot.htm](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/fruit/blueberry_maggot.htm))
- Weems, H.V., Nation, J.L., 2012. Olive Fruit Fly, *Bactrocera oleae* (Rossi) (Insecta: Diptera: Tephritidae). EENY-113 (IN270), The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). University of Florida.
- Weems, Jr., H.V., Heppner, J.B., Steck, G.J., Fasulo, T.R., 2001b. West indian fruit fly. UF/IFAS, University of Florida. Publication Number: EENY-198 (Latest revision: August, 2015).
- Weems, Jr., H.V., Heppner, J.B., Steck, G.J., Fasulo, T.R., Nation, J.L., 2001a. Caribbean fruit fly. UF/IFAS, University of Florida. Publication Number: EENY-196 (Latest revision: August, 2012; Reviewed: December 2017).
- Whervin, L.W., van, 1974. Some fruitflies (Tephritidae) in Jamaica. PANS, 20(1):11-19.
- White IM, Hancock DL, 1997. CABIKEY to the *Dacini* (Diptera, Tephritidae) of the Asian, Pacific and Australasian Regions. Wallingford, UK: CAB International.
- White, I.M., Elson-Harris, M., 1992. Fruit flies of economic significance. CAB International, Wallingford, UK.
- White, I.M., Evenhuis, N.L., 1999. New species and records of Indo-Australian *Dacini* (Diptera: Tephritidae). The Raffles Bulletin of Zoology 47, 487-540.
- YOKOYAMA V. Y., WANG X. G., ALDANA A., CORDERO C. E., RENDÓN P. A., JOHNSON M. W., DAANE K. M., 2012. Performance of *Psytalia humilis* (Hymenoptera: Braconidae) reared from irradiated host on olive fruit fly (Diptera: Tephritidae) in California. Environmental Entomology, 41: 497-507.

## [생리분야]

- Benelli, G., 2015. Aggression in Tephritidae flies: where, when, why? Future directions for research in integrated pest management. Insects 6, 38-53.
- Beroza, M., Alexander, B.H., Steiner, L.F., Mitchell, W.C., Miyashita, D.H., New synthetic lures for the male melon fly. Science 131, 1044-1045.
- Crouse, G., Sparks, T.C., Schoonover, J., Gifford, J., Dripps, J., Brue, T., Larson, L.L., Garlich, J., Hatton, C., Hill, R.L., Worden, T.V., Martynow, J.G., 2000. Recent advances in the chemistry of spinosyns. Pest Manag. Sci. 57, 177-185.
- Cunningham, R.T., 1989. Population detection, in: Robinson, A.S., Hooper, G. (Eds.), Fruit flies: their biology, natural enemies and control. Elsevier, Amsterdam, pp. 221-230.
- Diaz-Santiz, E., Rojas, J.C., Cruz-Lopez, L., Hernandez, E., Malo, E.A., 2016. Olfactory response of *Anastrepha striata* (Diptera: Tephritidae) to guava and sweet orange volatiles. Insect Sci. 23, 720-727.
- Dowell, R.V., 1985. Surveillance and control of exotic insect pests in California. Bull. Soc. Vector Ecol. 10, 52-59.
- Drew, R.A.I., Prokopy, R.J., Romig, M.C., 2003. Attraction of fruit flies of the genus *Bactrocera* to colored mimics of host fruit. Entomol. Exp. Appl. 107, 39-45.
- Han, H.Y., Kwon, Y.J., 2010. A list of North Korean Tephritoid species (Diptera: Tephritoidea) deposited in the Hungarian natural history museum. Kor. J. Syst. Zool. 26, 251-260.
- Han, H.Y., Ro, K.E., 2005. Molecular phylogeny of the superfamily Tephritoidea (Insecta: Diptera): new evidence from the mitochondrial 12S, 16S, and COII genes. Mol. Phylogenet. Evol. 34, 416-430.
- Han, H.Y., Suk, S.W., Lee, Y.B., Lee, H.S. 2014. National List of Species of Korea 「Insect」 (Diptera II). National Institute of Biological Resources. Incheon. 1-268 pp.

- Jeon, S.W., Cho, M.R., Kim, Y.P., Lee, S.G., Kim, S.H., Ryu, J., Lee, J.J., Hwang, C.Y., 2011. Temperature-dependent development model of the striped fruit fly, *Bactrocera scutellata* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). *Kor. J. Appl. Entomol.* 50, 373-378.
- Jeon, S.W., Kang, T.J., Cho, M.R., Kim, K.H., Lee, S.G., Kim, J.S., Park, H.W., 2012. Adult longevity and life table analysis of striped fruit fly, *Bactrocera scutellata* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). *Kor. J. Appl. Entomol.* 51, 485-488.
- Kim, Y., Jung, S., Kim, Y., Lee, Y., 2011. Real-time monitoring of oriental fruit moth, *Grapholita molesta*, populations using a remote sensing pheromone trap in apple orchards. *J. Asia Pac. Entomol.* 14, 259-262.
- Kim, Y., Kumar, S., Mahbubur, R.M., Kwon, H., Chun, Y., Na, J., Kim, W., 2015. Evasive behavior of the red flour beetle, *Tribolium castaneum*, against chlorine dioxide and its suppression by heat treatment. *Kor. J. Appl. Entomol.* 54, 151-158.
- Kim, Y., Md. Sadekuzzaman, Kim, M., Kim, K., Park, Y., Jung, J.K., 2016. Genetic character and insecticide susceptibility on a Korean population of a subtropical species, *Maruca vitrata*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 55, 257-266.
- Kim, Y.P., Jeon, S.W., Lee, S.G., Kim, K.H., Choi, N.J., Hwang, C.Y., 2010. Seasonal occurrence and damage of *Bactrocera scutellata* (Diptera: Tephritidae) in Jeonbuk province. *Kor. J. Appl. Entomol.* 49, 299-304.
- Korneyev, V.A., 1999. Phylogenetic relationships among the families of the superfamily Tephritoidea, in: Aluja, M., Norrbom, A.L. (Eds.), *Fruit flies (Tephritidae): phylogeny and evolution of behavior*. CRC Press, pp. 3-22.
- Mertz, F., Yao, R.C., 1990. *Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. Isolated from soil collected in a sugar mill rum still". *Intl. J. Syst. Bacteriol.* 40, 34-39.
- Metcalf, R.L., Metcalf, E.R., 1992. Fruit flies of the family Tephritidae, in: Metcalf, R.L., Metcalf, E.R. (Eds.), *Plant kairomones in insect ecology and control*. Routledge, Chapman & Hall Inc., New York, NY, pp. 139-152.
- Miyatake, T., Kuba, H., Yukawa, J., 2000. Seasonal occurrence of *Bactrocera scutellata* (Diptera: Tephritidae), a cecidophage of stem galls produced by *Lasioptera* sp. (Diptera: Cecidomyiidae) on wild gourds (Cucurbitaceae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 93, 1274-1279.
- Nakao, S., 1956. Overwintering aggregation in *Bactrocera scutellata*. *Kontyu* 33, 274.
- Norrbom, A.L., Carroll, L.E., Thompson, F.C., White, I.M., Freidberg, A., 1999. Systematic database of names, in: Thompson, F.C. (Ed.), *Fruit fly expert system and systematic information database, Diptera Data Dissemination Disk 1 & Myia*. pp. 65-251.
- Orr, N., Shaffner, A.J., Richey, K., Crouse, G.D., 2009. Novel mode of action of spinosad: receptor binding studies demonstrating lack of interaction with known insecticidal target sites. *Pesti. Biochem. Physiol.* 95, 1-5.
- Park, S.J., Morelli, R., Hanssen, B.L., Jamie, J.F., Jamie, I.M., Siderhurst, M.S., Taylor, P.W., 2016. Raspberry ketone analogs: vapour pressure measurements and attractiveness to Queensland fruit fly, *Bactrocera tryoni* (Froggatt) (Diptera: Tephritidae). *PLoS ONE* 11, e0155827.
- SAS Institute, Inc., 1989. *SAS/STAT User's Guide*. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Simon, C., Frati, F., Beckenbach, A., Crespi, B., Liu, H., Flook, P., 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.
- Soderlund, D.M., 2008. Pyrethroids, knockdown resistance and sodium channels. *Pest Manag. Sci.* 64, 610-616.
- Steiner, L.F., Lee, R.K.S., 1955. Large-area tests of a male-annihilation method for oriental fruit fly technique. *J. Econ. Entomol.* 48, 311-317.
- Steiner, L.F., Mitchell, W.C., Harris, E.J., Kozuma, T.T., Fujimoto, M.S., 1965. Oriental fruit

- fly eradication by male annihilation. J. Econ. Entomol. 58, 961-964.
- Vargas, R.I., Burns, R.E., Mau, R.F.L., Stark, J.D., Cook, P., Pinero, J.C., 2009. Captures in methyl eugenol and cuelure detection traps with and without insecticides and with a Farma Tech solid lure and insecticide dispenser. J. Econ. Entomol. 102, 552-557.
- Vargas, R.I., Miller, N.W., Stark, J.D., 2003. Field trials of spinosad as a replacement for naled DDVP, and malathion in methyl eugenol and cue-lure bucket traps to attract and kill male fruit flies and melon flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. J. Econ. Entomol. 96, 1780-1785.
- Vargas, R.I., Pinero, J.C., Leblanc L., 2015. An overview of pest species of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) and the integration of biopesticides with other biological approaches for their management with a focus on the Pacific region. Insects 6, 297-318.
- Vargas, R.I., Stark, J.D., Hertlein, M., Mafra-Neto, A., Coler, R., Piñero, J.C., 2008. Evaluation of SPLAT with spinosad and methyl eugenol or cue-lure for “attract-and-kill” of oriental and melon fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. J. Econ. Entomol. 101, 750-768.
- Vargas, R.I., Stark, J.D., Kido, M.H., Ketter, H.M., Whitehand, L.C., 2000. Methyl eugenol and cue-lure traps for suppression of male oriental fruit flies and melon flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii: effects of lure mixtures and weathering. J. Econ. Entomol. 93, 81-87.
- White, I.M., Elson-Harris, M.M., 1992. Fruit Flies of Economic Significance: their Identification and Bionomics. CAB International/ACIAR.

### 주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 수출전략기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 수출전략기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.