

# 식량작물 주요 나비목 해충의 성페로몬 조성 연구 현황

정진교\* · 서보윤<sup>1</sup> · 조점래<sup>2</sup>

국립식량과학원 재배환경과, <sup>1</sup>국립식량과학원 기초기반과, <sup>2</sup>농림축산식품검역본부 식물검역기술개발센터

## The Optimal Compositions of Sex Pheromones for Monitoring Major Lepidopteran Pests of Food Crops in Korea

Jin Kyo Jung\*, Bo Yoon Seo<sup>1</sup> and Jum Rae Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea

<sup>2</sup>Crop Foundation Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

<sup>3</sup>Plant Quarantine Technology Center, Animal and Plant Quarantine Agency, Gimcheon 39660, Korea

**ABSTRACT:** In this review, the compositions of the sex pheromones of 22 lepidopteran species were analyzed and briefly arranged by comparing the research results conducted in different locations worldwide. These compositions can be used as monitoring tools for pests of rice, maize, leguminous crops, perilla, and sesame in Korea. The sex pheromone compounds and those compositions of four species were successfully identified within Korean populations. The optimal compositions of sex pheromones of three other species were selected through behavioral studies using synthetic chemicals of the known pheromone compounds in laboratories and fields, without chemical identification processes in the sex pheromone compounds of Korean populations. For a few species, the roles of the minor components of the sex pheromone volatiles should be re-assessed for use in the development of optimal monitoring lures.

**Key words:** Food crops, Lepidopteran insects, Sex pheromone composition, Monitoring, Korea

**초 록:** 본 종설에서는 벼와 옥수수, 콩과작물, 감자, 들깨, 참깨에 대한 주요 나비목 해충 22종의 성페로몬 조성에 대해 국내외에서 연구된 결과들을 비교하면서 성충 예찰 수단으로 활용 가능한지를 분석하여 간단하게 정리하였다. 이 중 4종의 국내 개체군에서는 성페로몬샘 추출물로부터 성페로몬 성분들이 동정되고, 야외실험을 통해 그 조성이 규명되었다. 다른 3종에 대해서는 국내 개체군을 이용한 페로몬 화합물의 화학적 동정과정은 없었으나, 보고된 성페로몬 성분들을 이용한 실내 및 야외에서의 세밀한 조성실험을 통해 국내 개체군에 대한 최적 예찰조성이 선별되었다. 일부 종에 대해서는 최적 예찰미기 개발을 위해 성페로몬샘에서 발견되는 미량성분의 역할에 대해 검토할 필요가 있다.

**검색어:** 식량작물, 나비목 해충, 성페로몬 조성, 예찰, 한국

곤충 정보통신물질 중의 하나인 페로몬은 한 종 안의 개체들 사이에 여러 행동을 매개하는 화합물이며, 이 중 가장 많이 연구된 것은 암수의 생식, 즉 짝짓기 행동을 매개하는 성페로몬이다(Boo et al., 2005). 대부분의 곤충 페로몬들은 화학구조가 그리 복잡하지 않아 합성과 제형화가 가능하기 때문에 상업적으로 이용할 수 있다. 따라서 합성페로몬을 이용하여 자연계 내 곤충의 행동을 인위적으로 변형시킬 수 있는 장점 때문에 농업

과 산림, 위생 분야의 해충을 관리하는 데 매우 유용하게 사용되고 있다(Witzgall et al., 2010). 곤충 페로몬을 응용하는 방식 중의 하나는 해충 예찰(monitoring)이다(Howse et al., 1998).

페로몬트랩을 사용하여 얻은 예찰 정보는 크게 세 가지 방향으로 이용될 수 있는데, 첫째는 탐지(detection)로, 해충이 처음 발생하는 시기를 알아내거나, 목적종의 발생 여부를 탐지하거나, 검역과정에서 대상해충 종의 침입 여부를 확인할 수 있다. 둘째는 해충 방제수단을 운용하는 의사결정 기준(threshold)으로, 목적하는 해충에 대해 방제수단을 처리하는 시기와 발육단계가 다른 해충시료 수집 시기를 결정하고, 위험도를 평가하는

\*Corresponding author: [jungjk@korea.kr](mailto:jungjk@korea.kr)

Received January 4 2022; Revised February 8 2022

Accepted February 14 2022

기준으로 사용된다. 셋째는 해충 밀도를 추정(density estimation) 하는 것으로, 해충 개체군의 밀도 변동 양상과 분산 정도, 그에 따른 위험도 평가, 해충 방제수단의 효율성을 평가하는데 이용된다(Howse et al., 1998). 결국 페로몬트랩은 페로몬을 응용하기 이전에 냄새기반 통신수단을 사용하는 해충종을 관리하기 위해 사용했던 과거의 예찰수단(예: 유인등, 육안조사)을 대체해 왔다(Dent, 2000).

해충 예찰과 다르게 곤충 페로몬을 응용하는 대표적인 방식에는 페로몬을 해충을 직접 방제하는 수단으로 삼는 교미교란과 대량포획(유인 후 박멸 포함)이 있다(Howse et al., 1998; Witzgall, 2010; Kim, 2021). 이런 페로몬 이용 기술은 통신과 화상(image) 처리 기술과 접목하여 해충 무인예찰 기술로 개발되고 있거나(Kim et al., 2011; Jung et al., 2013a; Preti et al., 2021), 페로몬 생합성과 감각 과정이 세밀하게 연구되고 기계공학과 생명공학 지식과 연계되어 로봇을 이용한 해충 탐지기술이나 생명공학 적 방제기술 개발로 개척되고 있다(자세한 내용은 다음 문헌을 참고 요망, Ishikawa, 2020; Kim, 2021; Rizvi et al., 2021).

국내에서는 국내 자체의 해충집단으로부터 직접 페로몬을 동정하는 연구가 1990년대 중반부터 시작된 이후(Boo and Park, 2005), 현재까지 많은 곤충을 대상으로 페로몬에 관한 연구가 진행되고 있다. 특히 과수 해충종에 대해서는 페로몬 동정과 예찰을 통한 해충종합관리, 그리고 상업화된 교미교란제를 이용한 직접 방제에 이르기까지 적극적으로 연구되어 왔다(Boo et al., 2005; Ahn et al., 2021; Kim, 2021; NAQS website, N.D.). 그러나 과수처럼 일부 상업성이 높은 작물을 제외한 대부분의 다른 작물에서는 자주 문제가 되는 일부 해충에 대해서만 예찰 목적으로 성페로몬 성분과 조성 연구가 진행되어 왔고, 예찰용 미끼가 상업화되었다.

이에 앞으로 성페로몬을 국내 식량작물 해충 관리에 적극적으로 이용하기 위해, 주요 나비목 해충 성페로몬에 대해 기간 진행된 성페로몬 성분과 조성에 대한 국내외 연구 현황을 비교하면서 정리하였다. 대개 해외에서 오래전 선행연구가 있었고, 국내 연구는 뒤늦게 진행되었다. 성페로몬 연구에서 주의할 점의 하나는 같은 종 내에서도 지역 개체군에 따라 성페로몬 성분의 조성 변이가 보이는 현상이 종종 있다는 점이다(Boo, 1998; Boo et al., 2005). 따라서 지역 개체군에 대한 최적 유인조성은 항상 중요하게 다뤄졌고, 이것이 국내 해충종 개체군의 성페로몬 연구가 필요한 이유이기도 하다. 또 앞에서 언급된 최근의 방제기술을 국내에서 제대로 개발하기 위해서도 국내 개체군의 성페로몬 성분과 조성이 정확하게 밝혀져야 한다. 현재 세계 모든 지역에서 곤충을 포함한 동물계에서 밝혀진 정보통신물질(페로몬 포함)의 성분과 최적 활성 조성들에 관해서는 문헌

정보와 함께 ‘Pherobase’ 웹사이트(El-Sayed, 2021)에 방대한 자료로 구축되어 있다. 이 글에서 다루는 해충의 성페로몬 성분과 조성에 관한 내용도 이 웹사이트의 정보에 많이 의존하여 작성하였다.

이 글에서는 알곡 혹은 덩이줄기나 덩이뿌리 형태로 생산되어 국민의 주영양원을 공급하는 식량작물인 벼(*Oryza sativa*), 옥수수(*Zea mays*), 조(*Setaria italica*), 수수(*Sorghum bicolor*) [벼과(Poaceae)], 콩(*Glycine max*), 팥(*Vigna angularis*), 녹두(*V. radiata*), 동부(*V. unguiculata*)[콩과(Fabaceae)], 감자(*Solanum tuberosum*)[가지과(Solanaceae)], 고구마(*Ipomoea batatas*)[메꽃과(Convulvulaceae)], 그리고 기름작물인 들깨(*Perilla frutescens*) [꿀풀과(Lamiaceae)], 참깨(*Sesamum indicum*)[참깨과(Pedaliaceae)]에 대한 주요 나비목 해충만을 대상으로 설명하였다. 여기서 다루는 식량작물은 모두 1년생이다. 따라서 이 해충들은 해당 포장에서 월동할 수 있는 조건이 아니라면(비래해충도 포함) 작물이 재배되는 시기 중에 포장 이외 지역으로부터 침입을 통해 발생하는 특징이 있다. 즉, 이 글에 다루는 해충 대부분은 연중 장소 혹은 먹이식물을 달리하면서 세대를 이어가는 특징이 있다.

이 글에서는 각 해충종에 관해 지역별로 동정된 성페로몬 성분과 최적 유인조성에 대해서만 설명하였다. 대체로 외국의 연구사례를 먼저 들고 국내의 연구사례를 뒤로 배치하였다. 예찰용 성페로몬 이용에서 필수적으로 고려해야 할 방출제 종류와 성페로몬 함량, 트랩 형태에 대해서는 비교 결과 혹은 사용 사례만을 언급하였고 별도의 고찰은 하지 않았다. 이는 이들 요소가 관여하는 작용 경로가 불확실한 경우가 많고, 정형화되기 어렵기 때문이며, 새로운 방법이 꾸준히 개발되고 있기 때문이다. 또, 대량포획이나 교미교란처럼 성페로몬을 직접방제에 이용한 연구들은 국내에서 시도된 경우에만 언급하였는데, 이 역시 개발자에 따라 다양한 방식이 시도되고 있기 때문이다. 국내에서 직접방제에 사용되는 성페로몬의 상업용 제제는 유기농업자재로 분류되어 있는데, 국내에는 현재 장미과 과수해충에 대한 교미교란제만 등록되어 있다(NAQS website, N.D.). 본문 내의 해충종은 과별로 종 일반명의 가나다순으로 정리하였다.

## 용어 설명

이 글에서 다루는 페로몬 화합물들의 대부분은 길이가 다른 탄화수소 사슬에 이중결합이 있거나 없는 구조와 말단 탄소에 작용기가 있거나 없는 구조를 갖고 있는데, 말단 작용기는 3종류만을 갖는 단순한 형태이다. 따라서 본문에서 언급하는 화합

물 중 몇 종류를 제외한 대부분은 정식 명칭을 사용하지 않고 다음과 같은 공통된 방식의 약자로 표기하였다. ① 단일 화합물의 주 골격인 탄화수소 길이는 숫자로 표기하였다. ② 사슬 구조 내 이중결합의 기하이성질체 구조 중 트랜스형(*trans*, *E*)은 'E'로 시스형(*cis*, *Z*)은 'Z'로 표기하고, 이중결합의 위치는 기하이성질체 약자 뒤에 붙인 숫자로 표시하였다. 이 표시는 화합물 주골격 숫자 앞에 하이픈(-)을 붙이고 그 앞에 표기하였다. ③ 탄소 사슬의 말단에 부착된 작용기들은 탄화수소 사슬 길이를 나타내는 숫자 뒤에 콜론(colon, :) 표시를 하고 이어 붙여 Ac(아세테이트기, acetate), OH(알콜기, alcohol), Ald(알데히드기, aldehyde)로 표기하였다. 예를 들면, E10E12-16:Ald는 (*E,E*)-10,12-hexadecadienal을, Z11-16:Ac는 (*Z*)-11-hexadecenyl acetate, 16:OH는 hexadecanol을 가리킨다.

본문 중 곤충 더듬이의 감각에 관련된 전기생리 용어에서 EAG는 촉각전도도 반응(electroantennography)을, GC-EAD는 GC-촉각전도도 반응(coupled gas chromatography - electroantennographic detection)을 가리킨다.

본문 중 트랩 형태를 지칭하는 용어에서, 영문 용어들을 모두 한글 용어로 대치하여, 고깔트랩(콘트랩, cone), 깔때기트랩(핀넬트랩, funnel), 날개트랩(날개형 끈끈이트랩; 윙트랩, wing), 수반트랩(water pan trap)으로 표기하였다. 델타트랩(델타형 끈끈이트랩; delta)은 그대로 사용하였다.

## 밤나방과(Noctuidae)

### 담배거세미나방(*Spodoptera litura*) [콩과작물; 잎]

일본 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터 Z9E11-14:Ac와 Z9E12-14:Ac, Z9-14:Ac, E11-14:Ac가 탐지되었고, Z9E11-14:Ac와 Z9E12-14:Ac가 성페로몬 성분이고 나머지 두 성분은 앞의 두 성분에 따로 혹은 같이 첨가될 때 오히려 유인억제 작용을 한다고 보고되었다. 야외에서 최적 유인조성은 활성을 보이는 두 성분의 10:1 비율로 결정된 것으로 보인다(Tamaki et al., 1973; Yushima and Tamaki, 1974; Tamaki et al., 1976). 중국 개체군의 성페로몬샘 추출물에서도 일본 개체군과 같은 네 성분의 화합물이 탐지되었다(Sun et al., 2002). 야외 검정에서 일본 개체군과 유사하게 Z9E11-14:Ac와 Z9E12-14:Ac의 9:1 비율에서 최대 유인활성을 보였고, 이에 더해진 다른 두 화합물은 유인력에 영향을 미치지 않았다(Sun et al., 2003).

한국 개체군의 성페로몬은 동정되지 않았으나, 앞에서 보고된 두 성분에 대해 세밀한 조성으로 야외 검정한 결과 두 성분의 19:1 비율이 최적 유인조성이라고 제시되었다(Jung, 2001).

이 조성을 활용한 예는 아직 없다. 같은 연구에서 고무마개 방출제에 담은 성페로몬 함량을 10 mg까지 늘릴수록 포획수가 많았고, 1.5 m 높이로 깔때기트랩을 설치하였을 때 포획력이 높았다. 다른 연구에서 중국 개체군의 조성인 9:1 비율의 고무마개 방출제 미끼로 남부지방(1 mg, 깔때기트랩 사용)과 중부 수원 지방(500 ug, 고깔트랩 사용)에서 성충 발생을 예찰한 예가 있고, 수원에서는 예찰 결과를 토대로 연중 4회의 성충 세대 발생이 추정되었다(Bae et al., 2007; Jung et al., 2020).

국내에서 성페로몬을 직접 방제에 응용한 예로, Kim et al. (2009)은 두 성분의 79:1 비율을 1 mg 담은 미끼를 사용하였는데, 토마토 재배 대형 유리온실 외부 벽면을 따라 20 m 간격으로 트랩을 설치하고, 온실 내부에는 500 m<sup>2</sup> 당 1개 트랩을 설치하여 야외 성충의 온실 내부 침입을 효과적으로 차단하였다고 보고하였다.

### 뿔날개흰밤나방 (*Aedia leucomelas*) [고구마; 잎]

일본 개체군의 암컷(추출부위 미기록) 추출물로부터 (*Z,Z,Z*)-3,6,9-heneicosatriene을 동정하였고, 합성물 1~3 mg을 고무마개 방출제와 수반트랩을 이용하여 야외에서 행한 유인실험을 통해 그 활성이 확인되었다(Tamaki et al., 1996).

국내에서는 암컷 성페로몬샘 추출물에 대한 GC-EAD 분석으로 (*Z,Z,Z*)-3,6,9-heneicosatriene과 (*Z,Z,Z,Z*)-1,3,6,9-heneicosatetraene, (*Z,Z*)-3,6-(9*R*,10*S*)-9,10-epoxyheneicosadiene, (*Z,Z*)-3,6-(9*S*,10*R*)-9,10-epoxyheneicosadiene의 4성분을 페로몬 후보 성분으로 추정한 임시 연구가 있다(Choi et al., 2004).

### 멸강나방(*Mythimna separata*) [벼과작물; 잎]

일본에서 실험실 유지집단의 성페로몬샘 추출물로부터 Z11-16:Ac와 Z11-16:OH가 8:1 비율로 탐지되었고, 실내에서 수컷에 대한 반응이 9:1~5:5 비율 사이에서 관찰되었다(Takahashi et al., 1979). 이후 야외 검정에서는 두 성분의 9:1 혹은 8:2 비율이 최대 유인력을 보였다고 제시되었다(Sato et al., 1980). 참고로, 일본에서는 최근까지 성페로몬트랩 보다는 당밀트랩의 포획효율이 높은 것으로 보인다(Koyama and Matsuura, 2019). 중국 개체군의 성페로몬샘 추출물에서는 Z11-16:Ald와 Z11-16:OH, 16:Ald가 탐지되었고, 야외유인에는 세 화합물의 100:0.1:10 비율이 적절하다는 결과(Zhu et al., 1987a)와, Z11-16:Ald만으로도 많은 수컷이 포획되었다는 결과(Wei and Pan, 1985)가 제시되었다. 따라서 일본과 중국에서 성페로

몬 구성성분과 주성분이 서로 다르게 나타났다. 한편, 대만에서는 배추좀나방(*Plutella xylostella*) (Plutellidae, 좀나방과)의 성페로몬 성분인 Z11-16:Ald와 Z11-16:Ac, Z11-16:OH를 5:5:0.1 비율로 야외 유인력을 검정하던 중 멸강나방 상당수가 같이 포획되는 결과와, Z11-16:Ald와 Z11-16:Ac의 단독성분 혹은 혼합조성(1:9~9:1)을 사용한 트랩에는 멸강나방이 전혀 포획되지 않았던 결과가 제시되었다(Lin et al., 1982). 이런 결과들은 멸강나방의 성페로몬 구성 화합물 중 Z11-16:Ac와 Z11-16:Ald의 존재 혹은 야외에서의 유인력 활성이 지역 개체군 사이에서 다를 수 있거나, 두 화합물에 더해 Z11-16:OH가 미량이나마 필수성분으로 포함되어야 하는가에 대한 의문을 제기하고 있다.

국내에서는 채집된 개체군으로부터 성페로몬이 동정되지 않았다. 그러나 페로몬 이용으로, Lin et al. (1982)의 배추좀나방 유인 조성인 Z11-16:Ald와 Z11-16:Ac, Z11-16:OH의 5:5:0.1 비율을 이용하여 멸강나방의 연충 발생을 예찰한 사례(Uhm et al., 2006; Jung et al., 2013a)가 있다. 이 미끼를 이용한 트랩에는 밤나방과의 메밀겨세미밤나방(*Trachea atriplicis*), 쌍피밤나방(*Mythimna turca*) 유사종과 회양목명나방(*Glyphodes perspectalis*) (포충나방과)이 시기에 따라 같이 포획된다(Jung et al., 2013a). 한편, 멸강나방은 국가 주요 해충 예찰대상인데, 전국의 농업기술센터에서 조성이 밝혀지지 않은 상용제품을 사용하여 매년 매일의 예찰 자료가 기록되고 있다(NCPMS website, N.D.). 그런데 최근 상용제품의 종류에 따라 10배 이상의 유인력 차이가 있는 것이 임시로 보고되어(Kim et al., 2019), 국내 멸강나방 예찰용 미끼에 대한 연구(조성, 함유량, 방출제 등)와 전국 예찰을 위한 방법 표준화 작업이 필요하다. 예찰용 성페로몬트랩 형태로는 깔때기트랩보다는 고깔트랩의 포획효율이 높고(Jung, K., unpublished observation), 상용제품의 방출제로는 고무마개와 폴리에틸렌튜브 형태가 공급되고 있다.

### 벼밤나방(*Sesamia inferens*) [벼; 줄기]

필리핀 개체군의 성페로몬샘 추출물에서 Z11-16:Ac가 탐지되어 EAG 반응이 확인되었다(Nesbitt et al., 1976). 중국 개체군의 성페로몬샘 추출물에서는 Z11-16:Ac 이외에 Z11-16:OH, Z11-16:Ald가 탐지되었고, 세 성분의 4:1:0.1 비율이 야외에서의 적절한 유인조성으로 보고되었다(Zhu et al., 1987b). 일본 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터는 Z11-16:Ald는 발견되지 않았고, Z11-16:Ac와 Z11-16:OH가 3:1(60:20 ng/female)의 비율로 동정되었다(Nagayama et al., 2006). 같은 연구에서 단일성분만으로는 유인력이 전혀 없었고, 성페로몬샘의 동정 비율과 같

은 비율이 적절한 야외 유인조성으로 제시되었으며, Z11-16:Ald의 첨가(두 활성화합물의 0~5% 사이)는 유인력 향상 효과가 나타나지 않아 Zhu et al. (1987b)과 다른 결과가 제시되었다.

한국 개체군의 성페로몬은 동정되지 않았고, Nagayama et al. (2006)의 조성을 이용하여 1 mg을 포함하는 고무마개 방출제 미끼를 날개트랩에 걸어 2013년 밀양, 나주, 서산, 수원, 익산에서 성충 발생을 예찰했던 임시 연구(Jung et al., 2013b)가 있다.

### 벼애나방(*Naranga aenescens*) [벼; 잎]

벼애나방의 성페로몬은 한국(Cho et al., 2014)과 일본(Ando et al., 1980a) 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터 Z11-16:Ac, Z9-16:Ac, Z9-14:Ac가 공통으로 탐지되었고, 최적 야외유인 조성으로 한국 개체군에서는 세 화합물의 4:1:2의 비율이, 일본 개체군에서는 4:1:1의 비율이 보고되었다. 한국 개체군에서는 4:1:2 비율의 유인력이 4:1:1 비율과 유사하거나 높았다. Cho et al. (2014)의 연구에서는 고무마개 방출제를 사용하였고, 성페로몬 함량이 2 mg까지 증가할수록 포획수가 많았는데, 0.2 ~ 1 mg 사이, 1 ~ 2 mg 사이에는 유의한 차이가 나지 않았다. 날개트랩이 고깔트랩 및 델타트랩보다 포획력이 컸으며, 포장 안쪽에 설치된 트랩에서 포획수가 유의하게 많았다.

### 열대겨세미나방(*Spodoptera frugiperda*) [벼과, 콩과작물; 잎, 이삭]

열대겨세미나방은 2019년 국내에 처음 침입한 해충으로 매년 해외에서 비래할 것으로 예상되는 해충이다(Lee et al., 2020). 이 해충의 성페로몬은 아메리카 개체군의 성페로몬샘 추출물이나 암컷 냄새 포집물에서 야외유인 활성을 갖는 필수 화합물로 Z7-12:Ac와 Z9-14:Ac가 동정되었다(Tumlinson et al., 1986). 추출물이나 암컷 냄새 포집물에서 같이 발견되는 Z9-12:Ac와 Z11-16:Ac의 역할은 뚜렷하지 않은 것으로 보인다(Tumlinson et al., 1986; Fleischer et al., 2005; Unbehend et al., 2014). 한편, 브라질 개체군의 성페로몬샘 추출물에서 E7-12:Ac가 발견되었고, 앞의 두 성분에 첨가되어(세 성분 1:100:1 비율) 두 성분 미끼(1:100)보다 더 큰 유인력을 나타내는 것이 보고되었다(Batista-Pereira et al., 2006). 국내에서는 침입이 예상되었던 2019년에 Z7-12:Ac와 Z9-14:Ac를 1:50의 비율로 만든 2성분 미끼와 Z7-12:Ac와 Z9-14:Ac, Z9-12:Ac, Z11-16:Ac를 2:100:1:8의 비율로 만든 4성분 미끼의 유인력이 비교되었는데, 2성분 미끼의 유인력이 약간 더 컸으나 두 조성 사이에 유의한 차

이는 없었다. 한편, 4성분 미끼에는 비표적 곤충인 밤나방과의 뒷흰가는줄무늬밤나방(*Mythimna loreyi*)이 2성분 미끼보다 유의하게 많이 포획되었다(Seo et al., 2020). 같은 연구에서 고무마개 방출제에 담긴 성페로몬 함량이 300 ug인 미끼의 포획효율이 1 mg 미끼보다 컸고, 깔때기트랩의 포획효율이 델타트랩보다 유의하게 컸다. 한편, 2019년에는 수원에서 Seo et al. (2020)의 4성분 미끼 1 mg을 고무마개 방출제에 담아 고깔트랩을 이용하여 예찰하여, 열대거세미나방이 5월 말이나 6월 초 사이에 비래하여 세대를 연속할 수 있는 경우 연중 4회 발생할 수 있다고 추정하였다(Jung et al., 2020). 이 해충에 대해서는 앞으로 국내에서 수집된 개체군을 이용한 성페로몬 연구가 필요하다.

### 왕담배나방(*Helicoverpa armigera*) [옥수수, 수수, 참깨, 이삭(열매)]

초기 연구에서 수단 개체군의 성페로몬샘 추출물에 대한 야외 검정에서 Z11-16:Ald가 성페로몬 성분으로 동정되었고(Piccardi et al., 1977), 이후 수단과 보츠와나, 인도 개체군의 성페로몬샘 추출물이나 암컷 냄새 포집물로부터 Z11-16:Ald, Z11-16:OH, 16:Ald, 16:OH가, 말라위 개체군에서는 위 화합물들에 더해 Z9-16:Ald가 탐지되어, 야외 검정에서 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald를 활성성분으로 동정하였다(Nesbitt et al., 1979; 1980). 한편, 유사한 시기에 이스라엘 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터 Z11-16:Ald, Z9-16:Ald, 16:Ald, 16:OH가 87:3:4:6의 비율로 탐지되었고(Dunkelblum et al., 1980), 야외 검정결과로 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald의 99:1~9:1 사이의 비율이 적절한 유인조성으로 제시되었다(Kehat et al., 1980). 이후 다시 연구된 이스라엘 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald, Z7-16:Ald, Z9-14:Ald, Z11-16:OH, 16:Ald의 6개 화합물이 100:2.5:0.6:1.5:5.5:3.5의 비율로 발견되었고, 풍동에서의 수컷 행동반응으로 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald의 혼합물(100:2.5 비율)을 유효한 성페로몬으로 추정하였다(Kehat and Dunkelblum, 1990). 한편, 러시아에서(지역 개체군 인지는 불확실)는 Z11-16:Ald와 Z11-14:Ald, Z11-16:OH, Z11-14:OH, Z11-16:Ac의 다섯 성분이 5:3:2:1:1의 비율로 탐지되었고, 이중 Z11-16:Ald와 Z11-14:Ald의 두 성분이 유인에 필요한 활성성분으로 동정되었다(Konyukhov et al., 1983, recited from El-Sayed, 2021). 이 연구는 특이하게 Z11-14:Ald와 Z11-14:OH, Z11-16:Ac의 세 성분을 새롭게 보고하였다. 이후 중국 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터는 이중결합과 말단작용기를 갖는 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald, Z9-14:Ald, Z7-16:Ald, Z11-16:OH의 5개 화합물과 말단 작용기만을 갖는 16:Ald,

14:Ald, 9:Ald, 7:Ald, 16:OH의 5개 화합물이 탐지되었고, 이중 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald, Z9-14:Ald의 세 성분이 100:1.37:0.3의 비율로 정량되었으며, 이 세 성분의 98.3:1.4:0.3 비율의 미끼가 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald의 두 성분 미끼(98.6:1.4 비율)보다 야외에서 유인력이 높게 발휘된 결과가 제시되었다(Zhang et al., 2012). 이상의 연구에서 Z11-16:Ald는 주성분이긴 하나 단독성분으로는 야외 유인력이 매우 낮으며 Z9-16:Ald가 첨가되어 유의한 유인력을 갖는 것은 명확하다. 그런데, Kehat and Dunkelblum (1990)의 풍동 검정에서는 앞의 두 성분 미끼에 Z9-14:Ald가 첨가될 때(세 성분의 100:2.5:5 비율) 오히려 행동반응을 억제하여 Zhang et al. (2012)과는 다른 결과가 보고되었다. 따라서 이 Z9-14:Ald의 역할은 더 검토가 필요할 것으로 보인다. 또 Z9-16:Ald 대신에 Z9-14:Ald가 첨가되는 두 성분 미끼의 유인력 검정도 필요할 것으로 보인다.

한국 개체군의 성페로몬은 동정되지 않았고, Kehat et al. (1980)의 야외유인 조성인 Z11-16:Ald와 Z9-16:Ald의 9:1 비율 미끼를 사용하여 2000년대 수원과 서산, 제주에서(Uhm et al., 2006), 2010년대 수원에서 예찰이 수행되었다(Jung et al., 2015). Jung et al. (2015)의 연구에서는 성페로몬 1 mg을 넣은 고무마개 방출제와 고깔트랩을 사용하였고, 연중 발생양상을 해석하여 수원에서 일년 중 성충세대가 최소 4회 발생할 수 있다고 주장하였다. 이 조성의 미끼에는 멸강나방 수컷 성충이 꽤 많은 수로 같이 포획된다(Jung, J.K., unpublished observation).

### 콩은무늬밤나방(*Ctenoplosia agnata*) [콩과작물; 잎]

일본 개체군의 성페로몬샘 추출물에서 12:Ac와 Z7-12:Ac, Z9-12:Ac가 0.5:100:8의 비율로 탐지되었고, 추출물 분획을 이용한 야외 검정에서 Z7-12:Ac와 Z9-12:Ac의 두 성분이 같이 활성화합물로 필요하고, 최적 야외 조성으로 10:1 비율이 제시되었다(Sugie et al., 1990). 같은 연구에서 위 조성의 트랩에 밤나방과의 붉은금무늬밤나방(*Chrysodeixis eriosoma*)이 같이 포획되는 현상이 나타났는데, 두 종의 처녀 암컷 트랩을 이용한 야외 포획에서는 콩은무늬밤나방에는 동종만, 붉은금무늬밤나방에는 두 종이 같이 포획되어 콩은무늬밤나방의 성페로몬 성분에 대한 검토가 더 필요할 수도 있다. 국내에서 채집된 개체군의 성페로몬은 동정되지 않았고, Sugie et al. (1990)이 제안한 Z7-12:Ac와 Z9-12:Ac의 다른 조성인 9:1 비율 미끼(1 mg 포함 고무마개 방출제)와 고깔트랩을 이용하여 2019년 5월 7일부터 11월 18일까지 예찰한 밀도 변동 자료로 수원에서 연중 4회의 성충 발생 횟수를 추정하였다(Jung et al., 2020). 이 연구에서 전부 587마리가 포획되었는데, 모든 개체의 생식기 동정

으로 동종 수컷만이 확인되었고, 임의로 선택된 9마리 모두의 시토크롬 산화효소 유전자 1의 부분염기서열이 동종과 일치하는 것을 확인하였다. 이 트랩에는 전체 트랩설치 기간 중에 4종의 다른 나방종이 합쳐서 8마리만 포획되었다(Jung, K., unpublished observation).

## 파밤나방 (*Spodoptera exigua*) [콩과작물, 옥수수, 잎]

미국 개체군의 암컷 냄새 분석으로 Z9E12-14:Ac와 Z9Z12-14:Ac, Z9-14:OH, Z11-16:Ac, Z9-14:Ac의 다섯 화합물이 40.2:6.5:4.0:1.7:47.9의 비율로 발견되었고, 이에 더해 성페로몬샘 추출물에서는 Z9E12-14:OH가 발견되었다(Tumlinson et al., 1990). 같은 연구에서 냄새 성분들의 조합을 이용한 야외 검정에서 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH가 필수성분이며 Z11-16:Ac의 첨가로 유인력이 크게 증가하여 세 성분 미끼(87.2:2.5:10.3 비율)이 최적 야외유인 조성으로 제시되었다. 또 Z9-14:Ac의 첨가는 유인을 억제하고, 다른 두 성분은 유인력에 관여하지 않았다. 스페인 개체군의 성페로몬샘 추출물에서는 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH, Z11-16:Ac, Z9E12-14:OH, Z9-14:OH, Z9-14:Ac, Z11-16:OH의 6개 화합물이 26:31:1:22:31:11:9의 비율로 탐지되었고, 암컷 냄새에서는 Z9E12-14:OH와 Z11-16:OH는 탐지되지 않았다(Acín et al., 2010). 같은 연구에서 여러 성분의 조합을 이용한 야외 검정에서 Tumlinson et al. (1990)과 동일하게 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH, Z11-16:Ac의 3성분 미끼가 가장 유인력이 높았다는 결과와 함께, 앞의 미국 개체군에 대한 최적 조성과의 비교실험을 통해 스페인 개체군에 대한 최적 유인조성으로 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH, Z11-16:Ac의 56:37:7 비율을 제시하였다. 일본 개체군에 대해서는 미국의 사전 연구(Persoons et al., 1981; Tumlinson et al., 1981; Mitchell et al., 1983)에서 활성이 있을 것으로 제시된 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH, Z9-14:Ac에 대해 야외 검정에서 Z9-14:Ac는 활성이 없고, Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH 두 성분의 7:3 비율이 최적 유인조성이라고 먼저 제시되었다(Wakamura, 1987). 이후 일본 개체군의 성페로몬 성페로몬샘 추출물에서 Z9E12-14:Ac와 Z9E12-14:OH, Z9-14:OH, Z9-14:Ac의 4개 화합물이 98:83:100:60의 비율로 탐지되었고, 이후 야외 검정에서 앞의 두 성분 미끼와 비교하여 Z9E12-14:OH와 Z9-14:Ac가 유인력에 관여하지 않는다고 제시된 후(Mochizuki et al., 1993; 1994), 다른 보고는 없는 것으로 보인다. 중국 개체군에서는 실험실 유지집단과 야외 채집집단 각각의 성페로몬샘 추출물에서 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH, Z9-14:Ac, Z9E12-14:Ac가 47:18:18:17과 43:18:23:16의 서로 유사한 비율로 탐지되었고, 야외에서 Z9E12-14:Ac와

Z9-14:OH의 9:1 비율 미끼가 7:3 비율 미끼보다 우세한 유인력을 보였다고 보고되었다(Dong and Du, 2002). 같은 연구에서 Z9-14:Ac가 앞의 두 성분에 첨가되어도 유인력이 강화되지 않았던 결과도 제시되었다.

한국 개체군의 성페로몬샘 추출물에서는 Z9E12-14:Ac가 주성분으로 Z9-14:OH와 Z9-14:Ac는 미량성분으로 탐지되었고, 이중 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH의 세밀한 조성실험을 통해 두 성분의 7:3 비율이 야외유인을 위한 최적 조성으로 보고되었다(Jung et al., 2003). 같은 연구에서 국내 개체군에서는 탐지되지 않았으나 미국과 스페인 개체군(Tumlinson et al., 1990; Acín et al., 2010)에서 발견된 Z11-16:Ac가 앞의 두 성분 미끼에 첨가될 때(세 성분 비율 7:3:1 혹은 7:3:5), 두 성분 미끼보다 유인력이 크게 높아지는 것이 확인되었다. Z11-16:Ac는 미국과 스페인 개체군에서 매우 미량으로 탐지되었기 때문에 국내 및 다른 지역의 개체군에서는 미처 발견하지 못했을 가능성도 있다. 한편 Jung et al. (2003)의 연구와 미국, 스페인, 중국, 일본 개체군에서 탐지된 Z9-14:Ac 혹은 미국 개체군에서 탐지된 Z11-14:Ac (Persoons et al., 1981)가 두 성분 혹은 세 성분 미끼(7:3:5)에 첨가되면 유인력이 억제되는 효과도 제시되었다. Jung et al. (2003)의 연구에서는 고무마개 방출제에 담긴 1 mg 미끼와 깔때기트랩이 사용되었고, 트랩 설치 높이는 1.5 m가 적절하다고 제시되었다.

국내에서 예찰에 사용된 예로, 여러 지역에서 Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH의 7:3 비율 미끼로 연중 성충 발생 시기를 성공적으로 예찰하여 연중 발생횟수를 제시한 결과와(Park et al., 1991; Goh et al., 1993; Kim et al., 1995; Bae et al., 2007, 이 문헌에는 Z9E12-14:Ac 대신 Z9E11-14:Ac로 기술되어 있는데 오기로 판단된다), Z9E12-14:Ac와 Z9-14:OH, Z11-16:Ac의 7:3:5 비율(Jung et al., 2003) 미끼로 수원지방에서 예찰하여 4회 이상의 연중 성충 발생 횟수를 제시한 결과(Jung et al., 2020)가 있다. Jung et al. (2020)의 예찰에서는 밤나방과의 뒷헌날개담색밤나방(*Athetis dissimilis*) 수컷 성충이 같이 포획되는 현상이 보고되었다.

한편, 국내에서 성페로몬을 활용하여 직접 방제 효과가 제시된 예도 있는데, 대량포획 효과로 두 성분의 7:3 비율 미끼를 0.1 mg 담은 고무마개 방출제와 수반트랩을 이용하여 가을감자와 고추 재배 시설 안에서 330 m<sup>2</sup>당 10개 이상 설치할 때 설치 후 50일 이후에는 더 포획되는 성충이 없었다는 결과가 있다(Kim et al., 1995). 또, 야외 파 재배지에 위와 같은 방출제와 트랩을 330 m<sup>2</sup>당 1개 설치하여 트랩 적용 4주가 지나는 동안 파 피해엽수가 급격하게 감소한 결과도 있다(Park and Goh, 1992). 한편, 교미교란에 의한 방제효과도 시도되었는데, Park and Kim (1995)은 두 성분 7:3 비율의 일본 상용제품(함량 불명) 방출제를 파와

고추재배지에 ha당 1,000개씩 설치하여 2~3개월 후 유충 밀도가 무처리 포장에 비해 6% 이하로, 피해는 3% 이하였다는 결과를 제시하였다.

## 잎말이나방과(Tortricidae)

### 어리팔나방(*Matsumuraeses falcana*) [콩과작물, 잎(새순), 꼬투리]

일본 개체군의 성페로몬샘 추출물에서 검출된 여러 후보물질 중 실내 반응과 야외 유인실험을 통해 E8E10-12:Ac와 E8-12:Ac은 동종 성페로몬의 필수 화합물이고, E7E9-12:Ac가 첨가되어(세 성분의 1:1:1 조성) 최대 유인활성을 보이는 화합물로 동정되었다(Wakamura, 1985; Wakamura and Kegasawa, 1986). 국내에서는 한국 개체군으로부터의 활성성분을 동정하지 않은 상태에서, 보고된 세 가지 후보 화합물의 여러 조성으로 야외에서 유인 효과를 비교하였고 일본에서의 연구와 동일한 조성을 적합 조성으로 제시하였다(Cho et al., 2007). 같은 연구에서 고무마개 방출제를 담체로 사용하였는데, 1 mg 성페로몬이 포함된 미끼가 그 이하 함량이 포함된 미끼보다 유인력이 높았고, 날개트랩이 수반트랩에 비해 포획력이 컸고, 트랩을 콩밭 안쪽에 설치할 때 가장자리 설치 트랩보다 더 많이 포획되었다.

### 콩나방(*Leguminivora glycinivorella*) [콩, 꼬투리(종자)]

일본 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터 탐지된 E8E10-12:Ac와 E8Z10-12:Ac, 12:Ac가 GC-EAD 반응을 일으키는 것을 확인한 후에 야외 유인실험에서는 E8E10-12:Ac의 단독성분이 활성을 갖는 성페로몬으로 동정되었고, E8Z10-12:Ac는 오히려 유인억제 반응을 일으킨다고 보고되었다(Vang et al., 2006). 이후 중국 개체군에 대한 야외 검정에서 E8E10-12:Ac 단독성분이 0.1 mg 포함된 미끼가 0.01 혹은 0.5 mg 포함 미끼에 비해 매우 강한 유인력을 보였다(Hu et al., 2012). 또 같은 연구에서 E8E10-12:Ac에 다른 임의의 화합물인 E10-12:Ald, Z9-14:Ac, 14:Ac, E8-12:Ald, E8E10-12:Ald, E8-12:OH, E10-12:Ac를 개별적으로 첨가하였을 때 유인 효과가 4.3~17배까지 증가하였다는 결과가 제시되었다. 한국 개체군의 성페로몬 동정은 이뤄지지 않았고, E8E10-12:Ac와 14:Ac의 1:1 비율 조성으로 고무마개 미끼에 전체 함량 0.2 mg으로 콩 포장 주변에서 성충 발생을 예찰한 임시 연구에서 콩나방 발생이 예상되는 시기 부근에서 콩나방 혹은 유사종의 발생이 확인되었다(Jung

et al., 2021a).

### 팔나방(*Matsumuraeses phaseoli*) [콩과작물; 잎, 꽃, 꼬투리]

이 종의 성페로몬은 한국 개체군에서만 연구되었다(Yum et al., 2010). 성페로몬샘 추출물로부터 동속종인 어리팔나방 성페로몬 성분과 동일한 E8E10-12:Ac와 E8-12:Ac, E7E9-12:Ac의 세 화합물이 탐지되었고, E8E10-12:Ac가 다른 두 성분에 비해 약 7배의 많은 양으로 검출되었다. GC-EAD 검정에서는 E8E10-12:Ac에 대해 강한 촉각전도도 반응이, E8-12:Ac에 대해서는 상대적으로 약한 반응이 나타났고, E7E9-12:Ac에 대한 반응은 나타나지 않았다. 어리팔나방과 마찬가지로 야외 유인 실험에서 E8E10-12:Ac와 E8-12:Ac이 필수성분으로, 그리고 E7E9-12:Ac의 첨가로 세 성분의 7:1:2 비율이 최적 야외 유인 조성으로 결정되었다. 그러나 흥미롭게 어리팔나방의 성페로몬 조성인 1:1:1 비율에서는 포획된 개체의 대부분이 어리팔나방으로 동정되었으나, 팔나방의 조성에서는 팔나방보다 어리팔나방이 더 많이 포획되는 현상이 발견되었다. 후에 처녀 암컷을 이용한 야외 포획실험에서 화합물을 사용한 결과와 동일한 현상이 발견되어(Jung, J.K., unpublished observation), 인위교잡 실험을 통해 두 종 사이에 접합 후에 부분적인 생식격리가 발생한다는 결과(Jung et al., 2019)와 함께, 두 종이 생식 전후에 각각 부분적인 생식격리 기구가 작동하여 개별 종으로 분화한 것으로 추정되고 있다.

## 포충나방과(Crambidae)

### 들깨잎말이명나방(*Pyrausta panopealis*) [들깨, 잎]

이 종의 성페로몬에 대해서는 한국 개체군의 성페로몬샘 추출물에 대한 수컷의 반응을 확인하고, EAG 반응을 일으키는 분획에서 Z11-14:Ac와 E11-14:Ac을 동정하여 성페로몬 화합물로 추정된 보고(Kang and Seol, 1995)가 유일한 연구이다.

### 세줄콩들명나방(*Omiodes indicata*) [콩, 잎]

이 종의 성페로몬에 대한 보고는 없다.

### 이화명나방(*Chilo suppressalis*) [벼, 줄기]

처음 필리핀과 일본 개체군의 성페로몬샘 추출물 분석에서

성페로몬 후보 화합물로 주성분으로 Z11-16:Ald가, 미량성분으로 Z13-18:Ald가 제시되었다(Nesbitt et al., 1975; Ohta et al., 1976). 이후 Z9-16:Ald가 다른 필수 미량성분으로 동정되었고, 추출물에서 같이 발견되는 Z11-16:OH와 16:Ald, 18:Ald의 역할은 불확실하였다(Tatsuki et al., 1983). 이후 필리핀의 야외 유인실험에서 Z11-16:Ald와 Z13-18의 2성분 미끼(50:6 비율, 280 ug)에 비해 Z11-16:Ald와 Z13-18, Z9-16:Ald를 50:6:5의 비율(전체량 305 ug)로 약 20배 이상의 유인력이 있었다는 결과가 제시되었다(Mochida et al., 1984). 같은 연구에서 앞의 세 성분 조성에 Z11-16:OH와 16:Ald, 18:Ald가 첨가된 미끼가 세 성분 미끼보다 더 많은 수의 수컷이 포획된 결과가 제시되었다(단 통계적 유의성 없음). 그러나 각 단독성분의 역할이나 세밀한 조성에 대해서는 아직 명확하지 않다. 한국 개체군을 대상으로 직접 동정한 적은 없고, Mochida et al. (1984)의 세 성분 조성(고무마개 방출제, 1 mg)을 이용하여 날개트랩으로 연중 성충 발생을 임시로 관찰하여 중부지방에서 성충이 3회 발생할 가능성도 있다는 의견을 제시하였다(Jung et al., 2021b).

방제 필요수준을 결정하는 기준으로 예찰용 성페로몬트랩의 성충 포획수를 이용한 사례로, 일본에서는 각 성충 발생세대별로 성페로몬트랩의 최대 포획일까지의 성충 포획수가 1화기(월동세대) 성충은 56마리, 2화기 성충은 144마리를 5% 수확량 손실로 추정하였다(Kondo and Tanaka, 1995).

성페로몬을 이용한 직접 방제로 일본에서 긴 튜브나 라미네이트 패드에 개당 48~150 mg을 넣은 방출제를 5 × 5 m 간격으로 설치하여 교미교란 및 방제효과를 얻었다(Tanaka et al., 1987). 중국에서는 ha당 40개 트랩 설치로 대량포획이, ha당 500개 방출제(함량 5 mg) 설치로 교미교란이 가능하였다(Chen et al., 2014). 스페인에서는 ha당 6.6~7.9 g의 성페로몬 함량으로 교미교란이 가능하였다(Vacas et al., 2016). 국내에서도 제3의 미량성분인 Z9-16:Ald가 발견되기 전의 연구에서 Z11-16:Ald와 Z13-18:Ald를 4.5:1의 비율로 하여 물을 비롯한 다른 보조제와 섞어 눈에 직접 살포하여 1화기 성충에 대해 10 a당 약 9.8 g, 2화기 성충에 대해서는 약 1.7 g을 사용하여 교미교란 효과를 얻을 수 있었다고 하였다(Lee et al., 1981). 교미교란이나 대량포획 시도로 유효한 방제효과를 얻은 위의 연구 결과들은 이 해충을 대상으로 성페로몬을 이용한 직접 방제 가능성을 나타낸다.

### 조명나방(*Ostrinia furnacalis*) [옥수수, 잎, 줄기, 이삭]

이 종의 성페로몬은 일본(Ando et al., 1980b)과 필리핀(Klun et al., 1980), 중국(Cheng et al., 1981), 대만(Yeh et al., 1989; Kou

et al., 1992)에서 해당 지역 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터 Z12-14:Ac와 E12-14:Ac가 공통적으로 탐지되고, 야외 유인력 검증으로 성페로몬 성분으로 동정되었다. 두 성분의 비율은 지역에 따라 변이가 있으나 극단적인 변이는 보이지 않고, 적절한 유인력을 얻는데 두 성분 모두가 필요한 것으로 판단된다. 국내 개체군에 대해서도 성페로몬샘 추출물에서 Z12-14:Ac와 E12-14:Ac가 검출되었고(평균 1.5:1 비율), 야외에서의 세밀한 조성실험을 통해 적정 유인조성을 2:1로 확정지었다(Boo and Park, 1998). 같은 조성으로 500 ug을 넣은 고무마개 방출제와 날개트랩을 이용하여 수원지방에서 연중 발생횟수와 세대 진전 과정을 증명하는 유용한 수단으로 이용되었고(Park et al., 2017; Kim et al., 2020), 옥수수 포장에서 1세대 조명나방 유충 방제시기를 결정하는 기준으로 성페로몬트랩으로 예찰된 월동세대 성충 최대 발생일이 활용되었다(Jung et al., 2021c).

### 콩명나방(*Maruca vitrata*) [콩과작물; 꽃, 꼬투리, 잎]

E10E12-16:Ald가 가나와 베냉, 베트남, 태국, 중국(2개 지역) 개체군들의 성페로몬샘 추출물로부터 공통적으로 성페로몬 주성분으로 밝혀졌다. 미량성분으로 E10E12-16:OH가 베냉과 태국, 대만, 베트남, 중국 우한과 화저우 개체군에서 발견되었고, 정량결과가 없는 베냉을 제외한 다른 지역의 개체군에서 주성분의 약 10~12% 정도의 양으로 생합성된다고 보고되었다. 다른 미량성분으로 E10-16:Ald가 베냉과 중국 개체군에서 발견되었는데, 그 양은 중국 화저우 개체군에서 주성분의 약 0.7%, 우한 개체군에서 약 80% 수준으로 크게 차이가 났다. 베냉 개체군에 대해서는 E10E12-16:Ald와 E10E12-16:OH, E10-16:Ald의 100:5:5 비율 미끼로 가장 큰 유인 효과를 얻었다. 앞에 언급된 지역들에서 선발된 조성을 이용한 야외 유인실험 결과에서 공통적으로 트랩에 포획되는 수컷 수는 매우 적었고, 흥미롭게 일부 지역에서는 적은 수의 암컷이 같이 포획되는 현상이 나타났다. 또 두 미량성분은 성페로몬으로서 역할이 뚜렷하지 않으나 두 성분이 주성분에 첨가될 때 포획수가 많아지는 현상은 공통적으로 보인다(Adati and Tatsuki, 1999; Downham et al., 2003; Lu et al., 2013; Schläger et al., 2015). 국내 개체군에서는 주성분인 E10E12-16:Ald가 페로몬생합성 촉진신경펩타이드(pheromone biosynthesis activating neuropeptide) 신호에 의해 생합성되는 것이 확인되었다(Cha et al., 2018). 한국 개체군의 성페로몬 동정에 관한 임시 연구에서 외국 개체군에서 보고된 세 성분이 성페로몬샘 추출물에서 탐지되었고 보고된 조성을 이용하여 야외 유인력이 검토되었으나, 처녀암컷 트랩보다 포획 수가 적어 유효한 성페로몬인지는 뚜렷하지 않



았다(Jung et al., 2017).

### 콩잎말이명나방(*Patania ruralis*) [콩과작물; 잎]

일본 개체군의 성페로몬샘 추출물에서 E10-16:Ald와 Z10-16:Ald가 84:16의 비율로 동정되었고, 같은 비율을 담은 미끼로 야외에서 유인력이 확인되었다(Mochizuki et al., 2009). 다른 미량성분의 존재 여부는 확인되지 않았고, 개별 성분의 역할도 아직 해명되지 않았다. 이 해충은 2000년대 초반 국내 호남지역 콩 포장에서 잎을 가해하는 주 해충으로 보고되었는데(Paik et al., 2007), 한국 개체군에 관한 성페로몬 연구는 수행되지 않았다.

### 콩줄기명나방(*Ostrinia scapulalis*) [콩과작물; 잎, 줄기, 꽃, 꼬투리]

일본 개체군의 성페로몬샘 추출물에서 Z11-14:Ac와 E11-14:Ac가 활성을 갖는 성페로몬 성분으로 동정되었고, Z11-14:Ac 단독성분 미끼로 유인력이 약간 있으나, E11-14:Ac이 첨가될 때(두 성분의 100:3 비율) 훨씬 강한 유인력을 갖는다(Huang et al., 1997). 같은 연구에서 고무마개 방출제에 포함된 50 ug 미끼가 그보다 많은 양(100~500 ug)의 미끼보다 유인력이 월등히 강했던 결과가 제시되었다. 흥미롭게도 일본 도쿄 근교의 동일지역에서 채집된 개체 중에서 성페로몬샘 추출물의 Z11-14:Ac와 E11-14:Ac가 97:3, 1:99, 64:36의 서로 다른 비율을 보이는 세 집단이 발견된다고 하였다(Huang et al., 2002). 국내 개체군에 대해서는 실내 집단(원래 팔 포장에서 채집) 암컷의 성페로몬샘 추출물에서 Z11-14:Ac와 E11-14:Ac가 약 89:11의 비율로 포함되어 있다고 분석되었으나, 실내나 야외에서 유인력 검증을 통한 동정에는 이르지 못했다(Jung et al., 2012).

### 혹명나방(*Cnaphalocrocis medinalis*) [벼; 잎]

국내 비래해충인 이 종의 성페로몬은 처음 인도 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터 Z13-18:Ac와 Z11-16:Ac, Z13-18:OH를 탐지하고 야외 유인 검정을 통해 Z13-18:Ac와 Z11-16:Ac가 활성화합물이고, Z13-18:OH가 앞의 두 성분에 첨가되면 유인력이 억제된다고 보고되었다(Rao et al., 1995). 이 연구에서 두 성분은 성페로몬샘에서 평균 1과 0.09 ng으로 정량되었고, 야외에서는 10:1의 비율로 최대 유인력을 나타냈다. 그러나 이후 일본에서 유지된 개체군의 성페로몬샘 추출물로부터는 Z13-18:Ac와 Z11-16:Ac는 발견되지 않았고,

Z13-18:Ald와 Z11-18:Ald의 두 알데히드 성분과 Z13-18:OH, Z11-18:OH의 두 알코올 성분이 발견되었으며, 야외 검정에서 네 성분이 앞의 순서대로 100:11:36:24의 비율로 구성된 미끼가 야외에서 최대 유인력을 발휘한다는 매우 다른 결과가 제시되었다(Kawazu et al., 2000). 이 연구에서는 Z13-18:Ac와 Z11-16:Ac의 10:1과 1:10 조성이 야외에서 같이 비교되었는데, 두 조성은 유인력이 전혀 없었다. 동일한 결과가 인도네시아에서 수행된 야외 검정에서 보고되었고, 동시에 인도네시아 개체군의 성페로몬샘 추출물에서도 앞의 네 성분만이 100:10:37:26의 비율로 앞의 결과와 유사하게 정량되었다(Kawazu et al., 2009). 또, 같은 야외 유인 결과가 중국과 베트남, 필리핀의 검정에서도 나타났다고 보고되었다(Kawazu et al., 2005). 이러한 연구들 사이에 성페로몬 성분이 달랐던 이유는 종 동정 오류 때문일 가능성이 암시되고 있다(Kawazu et al., 2000; 2005; 2009). 국내에서는 채집된 개체군으로부터 성페로몬 동정 연구는 수행되지 않았다. 국내에서는 Kang et al. (1985)이 필리핀의 사전연구 정보에 근거하여 성페로몬 유사체로 Z13-18:Ac를 합성하여 야외 유인실험에 적용하였으나 포획수가 너무 적어 활성 화합물인지는 뚜렷하지 않았다. 이후 Cho et al. (2013)이 Kawazu et al. (2000)의 연구와 동일한 조성들로 실험하여 Z13-18:Ald와 Z11-18:Ald, Z13-18:OH, Z11-18:OH의 100:11:36:24 조성이 강한 유인력을 보였고, Z13-18:Ac와 Z11-16:Ac의 10:1과 1:10 조성은 유인력이 거의 없었던 결과를 제시하였다. 그런데 이 연구에서 흥미롭게 주성분인 Z13-18:Ald의 단독성분 미끼가 네 성분 미끼의 절반 정도의 유인력을 보여, Kawazu et al. (2000)에서 Z13-18:Ald가 단독성분 미끼가 유인력이 거의 없었던 결과에 비해 매우 다른 결과가 제시되었다. Z11-18:Ald는 단독으로 유인력을 발휘하지 못하는데, Z13-18:Ald에 첨가될 때 유의한 유인력을 발휘하거나(Kawazu et al., 2000) 유인력이 약간 강화되는(Cho et al., 2013) 다른 결과도 나타났다. 이 두 연구에서 두 알코올 성분의 유인력 강화 역할은 명확한 것으로 보인다. 한편, Cho et al. (2013)에서 두 알데히드 성분에 Rao et al. (1995) 연구의 주성분인 Z13-18:Ac를 첨가할 때(세 성분 100:11:11 비율), Kawazu et al. (2000)의 네 성분 미끼나 네 성분 미끼에 Z13-18:Ac가 더해진 다섯 성분 미끼에 비해 유인력이 강화된 흥미로운 결과(단 통계적 유의성 없음)도 제시되었다. 이 Z13-18:Ac는 유의한 EAG 반응을 나타낸다(Cho et al., 2013). 결국 혹명나방 성페로몬에 Z13-18:Ac를 포함한 다른 미량성분들의 존재 여부와, Z13-18:Ac의 역할에 대해서는 재검정이 필요하다고 판단된다.

## 명나방과(Pyralidae)

### 화랑곡나방(*Plodia interpunctella*) [저장곡물, 식품, 의약품]

Z9E12-14:Ac가 암컷 몸 혹은 성페로몬샘 추출물에서 행동 반응과 트랩 포획실험을 통해 페로몬 성분으로 처음 동정되었고(Brady et al., 1971; Dahm et al., 1971; Kuwahara et al., 1971), 이 성분에 더해 Sower et al. (1974)이 암컷 성충을 둔 용기 세척물에서 Z9E12-14:OH를 추가로 동정하여 성페로몬 후보물질로 제시하였다. 이후 Teal et al. (1995)이 성페로몬샘 추출물과 포집된 암컷 냄새로부터 앞의 두 성분 외에 Z9E12-14:Ald가 합성되는 것을 밝혔다. 이들 세 성분 외에 추가로 Z9-14:Ac와 Z11-16:Ac가 성페로몬샘 추출물에서 Zhu et al. (1999)에 의해 탐지되었고, GC-EAD 검정과 풍동에서의 행동실험 및 식품 저장고 안에서의 포획실험을 통해 Z9E12-14:Ac와 Z9E12-14:OH, Z9E12-14:Ald, Z9-14:Ac의 네 성분이 성페로몬 구성성분으로 동정되었다. 같은 보고에서 Z9E12-14:Ac와 Z9E12-14:Ald는 최대 유인력을 얻는 필수성분으로 제시되었고, 성페로몬샘에서 네 성분이 100:18:11:12의 비율로 발견되었으며, 트랩을 이용한 포획실험은 100:7:15:5의 비율로 수행되었다. 국내 개체군의 성페로몬은 동정되지 않았고, Z9E12-14:Ac의 단독성분만이 포함된 미끼로 곡물 저장시설에서 성충 밀도 변동과 세대 진전을 성공적으로 관찰한 사례가 있다(Na et al., 2000).

## 뽕나방과(Gelechiidae)

### 감자뽕나방(*Phthorimaea operculella*) [감자, 잎, 줄기, 덩이줄기]

이 종에 대한 연구 초기에, 미국 개체군에서 E4Z7-13:Ac가(Roelofs et al., 1975), 일본 개체군에서는 E4Z7Z10-13:Ac(Yamaoka et al., 1976)가 각각 이 종의 성페로몬으로 동정되었다. 이후의 네덜란드와 호주, 미국, 일본 개체군을 이용한 연구에서 두 화합물이 같이 발견되었는데(Persoons et al., 1976; Toth et al., 1984; Ono et al., 1990), 두 화합물이 서로 비슷한 양이거나(미국과 일본)(Toth et al., 1984), E4Z7-13:Ac가 2배 정도 많은 양으로(호주) 정량되었다(Ono et al., 1990). 미국과 호주, 일본에서의 야외 유인에는 E4Z7-13:Ac와 E4Z7Z10-13:Ac의 1:9~9:1 비율 사이에서 조성 사이에 큰 차이 없이 유인력을 발휘하는 것으로 보이나 최종적으로는 4:6 비율이 적절한 것으로 판단되어 왔고(Persoons et al., 1976; Voerman and Rothschild, 1978; Ono et al., 1997), 이 4:6 조성의 미끼가 페루와 중국에서

예찰에 성공적으로 활용되었다(Raman, 1982; Yan et al., 2021). 한국 개체군의 성페로몬에 관한 연구는 수행되지 않았다. 미국의 상용미끼(조성 불분명)와 델타트랩을 사용하여 전국의 성충 발생을 탐지한 보고(Kwon et al., 2017)가 있으나 포획수와 밀도 변동에 관한 정보가 없다.

## 맺는 말

밤나방과(9종)와 잎말이나방과(3종), 포충나방과(8종), 명나방과(1종), 뽕나방과(1종)에 속하는 식량작물 나비목 해충 22종의 성페로몬 성분과 조성에 대하여 검토한 결과, 이중 국내에서 성분 탐지와 야외 검정을 통해 성페로몬이 동정된 종은 4종(벼애나방, 파밤나방, 팔나방, 조명나방)이다. 이중 파밤나방에 대해서는 성페로몬 성분 중 미량성분들의 역할에 대해 더 검정이 필요할 것으로 판단된다. 성페로몬 동정과정은 없었으나 세밀한 비교실험으로 신뢰할 만한 야외 유인조성이 밝혀진 종은 3종(담배겨세미나방, 어리팔나방, 흑명나방)이다. 이중 담배겨세미나방에 대해서는 Jung (2001)이 보고한 조성을 이용하여 연중 성충 발생을 예찰한 자료를 얻을 필요가 있다. 또 흑명나방에 대해서는 Z13-18:Ac의 역할에 대한 재검정이 필요할 것으로 판단된다. 나머지 해충들은 국내 개체군에 대해 동정 시도되었지만 동정 결과를 명확하게 얻지 못했거나(뒷날개흰밤나방, 콩명나방, 들깨잎말이명나방), 외국에서 밝혀진 조성을 국내에서 검증과정 없이 사용하고 있거나(멸강나방, 벼밤나방, 열대겨세미나방, 왕담배나방, 콩은무늬밤나방, 콩나방, 이화명나방, 화랑곡나방, 감자뽕나방), 국내에서 성페로몬 연구가 된 적이 없거나(콩잎말이명나방, 콩줄기명나방), 아예 성페로몬이 밝혀지지 않은(세줄콩들명나방) 종들이다. 이들 종에 대해서는 성페로몬에 관한 연구를 초기 단계부터 수행할 필요가 있을 것으로 판단된다. 마지막으로, 서론에 언급했듯이 국내 개체군에 활용할 수 있는 정확한 성페로몬 조성을 밝히는 작업은 성페로몬을 이용한 직접방제나 무인예찰 혹은 로봇을 이용한 탐지, 생명공학적 페로몬 합성 및 야외 이용 등의 고도화된 미래 기술을 개발하는데 가장 중요한 과정임을 다시 강조하면서 이 글을 맺는다.

## 사 사

고 부경생 박사는 담배나방의 성페로몬 동정을 시작으로 국내 해충들의 성페로몬 연구를 진행시키며 예찰수단으로 성페로몬 이용 연구의 기반을 다졌다. 이 논문에서 언급된 파밤나방과 조명나방의 성페로몬 동정 연구는 고 부경생 박사의 주도로

완성되었다. 이 글을 빌어 그 분의 해안에 감사드리고 명복을 빈다. 본 연구는 농촌진흥청 어젠다 연구과제(PJ01527801)를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었다.

## Statements for Authorship Position & Contribution

Jung, J.K.: National Institute of Crop Science, Researcher;  
Wrote the manuscript.

Seo, B.Y.: National Institute of Agricultural Sciences, Researcher;  
Edited the manuscript.

Cho, J.R.: Animal and Plant Quarantine Agency, Researcher;  
Edited the manuscript.

All authors read and approved the manuscript.

## Literature Cited

- Acín, P., Rosell, G., Guerrero, A., Quero, C., 2010. Sex pheromone of the Spanish population of the beet armyworm *Spodoptera exigua*. *J. Chem. Ecol.* 36, 778-786.
- Adati, T., Tatsuki, S., 1999. Identification of female sex pheromone of the legume pod borer, *Maruca vitrata* and antagonistic effects of geometrical isomers. *J. Chem. Ecol.* 25, 105-115.
- Ando, T., Kishino, K.I., Tatsuki, S., Takahashi, N., 1980a. Sex pheromone of the rice green caterpillar: chemical identification of three components and field tests with synthetic pheromones. *Agric. Biol. Chem.* 44, 765-775.
- Ando, T., Saito, O., Arai, K., Takahashi, N., 1980b. (Z)- and (E)-12-tetradecenyl acetates: sex pheromone components of oriental corn borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Agric. Biol. Chem.* 44, 2643-2649.
- Ahn, J.J., Oh, H., Choi, K.S., Choi, K.-H., Do, Y.-S., Lee, S.-Y., Lee, D.-H., 2021. Development of basic research for establishing the apple IPM system in Korea. Dr. Lee Soon-Won's research case. *Korean J. Appl. Entomol.* 60, 1-13.
- Bae, S.-D., Kim, H.-J., Lee, G.-H., Park, S.-T., 2007. Seasonal occurrence of tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Fabricius and beet armyworm, *Spodoptera exigua* Hübner using sex pheromone traps at different locations and regions in Yeongnam district. *Korean J. Appl. Entomol.* 46, 27-35.
- Batista-Pereira, L.G., Stein, K., De Pauls, A.F., Moreira, J.A., Cruz, I., 2006. Isolation, identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone of the Brazilian population of *Spodoptera frugiperda*. *J. Chem. Ecol.* 32, 1085-1099.
- Boo, K.S. 1998. Variation in sex pheromone composition of a few selected lepidopteran species. *J. Asia-Pac. Entomol.* 1, 17-23.
- Boo, K.S., Park, J.W., 1998. Sex pheromone composition of the Asian corn borer moth, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) (Lepidoptera: Pyralidae) in South Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.* 1, 77-84.
- Boo, K.S., Park, K.C., 2005. Insect semiochemical research in Korea: overview and prospects. *Appl. Entomol. Zool.* 40, 13-29.
- Boo, K.S., Kim, Y.G., Park, K.C., Choi, M.Y., 2005. Insect hormones and physiology, Seoul National University Publishing and Culture Center, Seoul.
- Brady, U.E., Tumlinson III, J.H., Brownlee, R.G., Silverstein, R.M., 1971. Sex stimulant and attractant in the Indian meal moth and in the almond moth. *Science* 171, 802-804.
- Cha, W.H., Jung, J.K., Kim, Y., Lee, D.-W., 2018. Identification and pheromontropic activity of pheromone biosynthesis activating neuropeptide in *Maruca vitrata*. *J. Asia-Pac. Entomol.* 21, 156-160.
- Chen, R.-Z., Klein, M.G., Sheng, C.-F., Li, Q.-Y., Li, Y., Li, L.-B., Hung, X., 2014. Mating disruption or mass trapping, compared with chemical insecticides, for suppression of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) in northeast China. *J. Econ. Entomol.* 107, 1828-1838.
- Cheng, Z.-Q., Xiao, J.-C., Huang, X.-T., Chen, D.-L., Li, J.-Q., He, Y.-S., Huang, S.-R., Luo, Q.-C., Yang, C.-M., Yang, T.-H., 1981. Sex pheromone components isolated from China corn borer, *Ostrinia furnacalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae), (E)- and (Z)-12-tetradecenyl acetates. *J. Chem. Ecol.* 7, 841-851.
- Cho, J.R., Choi, K.S., Jung, J.K., Park, J.H., Seo, B.Y., 2007. Development of sex pheromone trap for monitoring *Matsumuraes falcana* (Walshingham) (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Asia-Pac. Entomol.* 10, 345-349.
- Cho, J.R., Choi, K.S., Park, H.H., Lee, S., Yum, K.H., Jung, J.K., Seo, B.Y., Lee, M., 2013. Electroantennogram and field responses of Korean population of the rice leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae), to sex attractant candidates. *J. Asia-Pac. Entomol.* 16, 61-66.
- Cho, J.R., Park, H.H., Seo, B.Y., Kim, J.H., Yum, K.H., Jung, J.K., Yang, C.Y., 2014. Identification and application of the sex pheromones of the rice green caterpillar *Naranga aeneascens* in Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.* 17, 191-197.
- Choi, M.-Y., Kim, D.-H., Paik, C.-H., Lee, G.-H., Gries, G., Roitberg, B.D., 2004. Study on mating behavior of the sweet potato leaf worm, *Aedia leucomelas*, and extraction of sex pheromone components, in: Proceeding of 2004 spring conference of Korean Society of Applied Entomology. p.128.
- Dahm, K.H., Richter, I., Meyer, D., Röller, H., 1971. The sex attractant of the Indian-meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner). *Life Sci.* 10, 531-539.
- Dent, D., 2000. Insect pest management, 2nd ed., CABI Publishing, Wallingford.
- Dong, S., Du, J., 2002. Chemical identification and field tests of sex pheromone of beet armyworm *Spodoptera exigua*. *Acta Phytolacica Sin.* 29, 19-24.

- Downham, M.C.A., Hall, D.R., Chamberlain, D.J., Cork, A., Farman, D.I., Tamo, M., Dahounto, D., Datinon, B., Adetonah, S., 2003. Minor components in the sex pheromone of legume podborer: *Maruca vitrata* development of an attractive blend. *J. Chem. Ecol.* 29, 989-1011.
- Dunkelblum, E., Gothilf, S., Kehat, M., 1980. Identification of the sex pheromone of the cotton bollworm, *Heliothis armigera*, in Israel. *Phytoparasitica.* 8, 209-211.
- El-Sayed, A.M., 2021. The pherobase: database of pheromones and semiochemicals. <https://www.pherobase.com> (accessed on 24 December, 2021).
- Fleischer, S.J., Harding, C.L., Blom, P.E., White, J., Grehan, J., 2005. *Spodoptera frugiperda* pheromone lures to avoid nontarget captures of *Leucania phragmatidicola*. *J. Econ. Entomol.* 98, 66-71.
- Goh, H.G., Choi, J.S., Uhm, K.B., Choi, K.M., Kim, J.W., 1993. Seasonal fluctuation of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hubner), adult and larva. *Korean J. Appl. Entomol.* 32, 389-394.
- Howse, P.E., Stevens, I.D.R., Jones, O.T., 1998. Insect pheromones and their use in pest management, Chapman & Hall, London.
- Hu, D.-H., He, J., Zhou, Y.-W., Feng, J.-T., Zhang, X., 2012. Synthesis and field evaluation of the sex pheromone analogues to soybean pod borer *Leguminivora glycinivorella*. *Molecules* 17, 12140-12150.
- Huang, Y., Tatsuki, S., Kim, C.-G., Hoshizaki, S., Yoshiyasu, Y., Honda H., Ishikawa, Y., 1997. Identification of sex pheromone of adzuki bean borer, *Ostrinia scapularis*. *J. Chem. Ecol.* 23, 2791-2802.
- Huang, Y., Takanashi, T., Hoshizaki, S., Tatsuki, S., Ishikawa, Y., 2002. Female sex pheromone polymorphism in adzuki bean borer, *Ostrinia scapularis*, is similar to that in European corn borer, *O. nubilalis*. *J. Chem. Ecol.* 28, 533-539.
- Ishikawa, Y., 2020. Insect sex pheromone research and beyond: from molecules to robots. Springer, Singapore.
- Jung, C.R., 2001. Sex pheromone composition of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* and the tobacco cutworm, *Spodoptera litura* in Korea. MS Thesis, Seoul National University.
- Jung, C.R., Park, Y.J., Boo, K.S., 2003. Optimal sex pheromone composition for monitoring *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) in Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.* 6, 175-182.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Park, D.-S., Oh, H.-W., Lee, G.-S., Park, H.-C., Cho, J.R., 2012. Species identification and developmental biology of a red bean pest in *Ostrinia* sp. (Lepidoptera: Crambidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 51, 469-477.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Cho, J.R., Kim, Y., 2013a. Monitoring of *Mythimna separata* adults by using a remote-sensing sex pheromone trap. *Korean J. Appl. Entomol.* 52, 341-348.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Cho, J.R., Choi, J.R., Choi, N.J., Paik, C.H., Bae, S.D., Kim, D.I., 2013b. Recent occurrence of *Sesamia inferens* in Korea, in: Proceeding of 2013 spring international conference of Korean Society of Applied Entomology. p.132.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Park, C.-G., Ahn, S.-J., Kim, J.I., Cho, J.R., 2015. Timing of diapause induction and number of generations of *Helicoverpa armigera* (Hüner) (Lepidoptera: Noctuidae) in Suwon, Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 54, 383-392.
- Jung, J.K., Su, J.H., Koh, Y.H., Seo, B.Y., Kim, Y., Lee, S.W., 2017. Reproductive behavior of *Maruca vitrata* (Crambidae), in: Proceeding of the 2017 spring meeting and international symposium of Korean Society of Applied Entomology. p.20.
- Jung, J.K., Park, C.-G., Moon, J.-K., Kim, E.Y., Cho, J.R., Seo, B.Y., 2019. Interspecific hybridization between *Matsumuraes phaseoli* and *M. falcana* (Lepidoptera: Tortricidae) and postzygotic reproductive isolation. *Korean J. Appl. Entomol.* 58, 305-311.
- Jung, J.K., Kim, E.Y., Kim, I.H., Seo, B.Y., 2020. Species identification of noctuid potential pests of soybean and maize, and estimation of their annual adult emergence in Suwon, Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 59, 97-107.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Kim, E.Y., 2021a. Bivoltinism of *Leguminivora glycinivorella* observed through adult trapping using a sex pheromone trap in an area at 38 degree north latitude, in: Proceeding of 2021 spring international conference of Korean Society of Applied Entomology. p.91.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Kim, E.Y., 2021b. An issue on emergence seasons of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) observed through analyses of outdoor rearing and sex pheromone trapping data, in: Proceeding of 2021 fall international conference of Korean Society of Applied Entomology. pp.107.
- Jung, J.K., Seo, B.Y., Jeong, I.-H., Kim, E.Y., Lee, S.W., 2021c. Application timings of insecticides to control the first generation of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* in waxy maize fields. *Korean J. Appl. Entomol.* 60, 431-448.
- Kang, S.-K., Moon, B.-H., Lee, J.-O., Goh, H.-G., 1985. A convergent synthesis of (Z)-13-octadecen-1-yl acetate, the pheromone mimic of the rice leaf folder moth and its biological activity test. *Bull. Korean Chem. Soc.* 6, 228-230.
- Kang, S.-K., Seol, K.-Y., 1995. Sex pheromone of the perilla leaf pyralid moth: isolation and identification. *Bull. Korean Chem. Soc.* 16, 688-689.
- Kawazu, K., Hasegawa, J., Honda, H., Ishikawa, Y., Wakamura, S., Sugie, H., Kamiwada, H., Kamimuro, T., Yoshiyasu, Y., Tatsuki, S., 2000. Geographical variation in female sex pheromones of the rice leaf folder moth, *Cnaphalocrocis medinalis*: identification of pheromone components in Japan. *Entomol. Exp. Appl.* 96, 103-109.
- Kawazu, K., Suzuki, Y., Yoshiyasu, Y., Castillon, E.B., Ono, H., Vuong, P.T., Huang, F.-K., Adati, T., Fukumoto, T., Tatsuki, S., 2005. Attraction of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae) males in Southeast Asia to female sex pheromone traps: field tests in southernmost China, northern Vietnam and southern Philippines with three synthetic pheromone blends regarding geographic variations. *Appl. Entomol. Zool.* 40, 483-488.

- Kawazu, K., Adati, T., Yosiyasu, Y., Sumiartha, K., Susila, W., Sudiarta, P., Purwanto, H., Tatsuki, S., 2009. Sex pheromone components of the rice leafhopper, *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Crambidae), in Indonesia. *J. Asia-Pac. Entomol.* 12, 97-99.
- Kehat, M., Gothilf, S., Dunkelblum, E., Greenberg, S., 1980. Field evaluation of female sex pheromone components of the cotton bollworm, *Heliothis armigera*. *Entomol. Exp. Appl.* 27, 188-193.
- Kehat, M., Dunkelblum, E., 1990. Behavioral responses of male *Heliothis armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) moths in a flight tunnel to combinations of components identified from female sex pheromone glands. *J. Insect Behav.* 3, 75-83.
- Kim, K.C., Park, J.D., Choi, D.S., 1995. Seasonal occurrence of *Spodoptera exigua* in Chonnam province and a possibility of their control in vnyl house with pheromone traps. *Korean J. Appl. Entomol.* 34, 106-111.
- Kim, H.-Y., Kim, J.-H., Son, B.-G., Cho, J.R., Lee, Y.-H., Kim, Y.-H., Choi, M.-Y., 2009. Analysis on the mass-trapping effects by *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) sex pheromone traps deployed around the tomato glasshouse. *Korean J. Appl. Entomol.* 48, 245-251.
- 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, H.J., Choi, N.J., Kim, S.M., Kim, S.H., Lee, B.C., 2019. Attraction effects of rice armyworm, *Mythimna separata*, to sorts of trap and pheromone, in: *Proceeding of 2019 fall conference of Korean Society of Applied Entomology*. p. 83.
- Kim, E.Y., Kim, I.H., Seo, B.Y., Kim, Y., Park, C.-G., Jung, J.K., 2020. Diapause and voltinism in *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae) in Suwon, and larval instar sensitivity to diapause induction. *Korean J. Appl. Entomol.* 59, 185-202.
- Kim, Y., 2021. Sensory physiology of sex pheromone and its uses for insect pest management. *Korean J. Appl. Entomol.* 60, 15-47.
- Klun, J.A., Bierl Leonhardt, B.A., Schwarz, M., Utsinger, J.A., Barrion, A.T., Chiang, H.C., Jiang, Z., 1980. Sex pheromone of the Asian corn borer moth. *Life Sci.* 27, 1603-1606.
- Kondo, A., Tanaka, F., 1995. An estimation of the control threshold of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) based on the pheromone trap catches. *Appl. Entomol. Zool.* 30, 103-110.
- Konyukhov, V.P., Kovalev, B.G., Sammar Zade, N.R., 1983. Isolation and identification of the components of the sex pheromone of the corn earworm *Heliothis armigera* Hb. *Sov. J. Bioorg. Chem.* 9, 782-787.
- Kou, R., Ho, H.Y., Yang, H.T., Chow, Y.S., Wu, H.J., 1992. Investigation of sex pheromone components of female Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) in Taiwan. *J. Chem. Ecol.* 18, 833-840.
- Koyama, J., Matsumura, M., 2019. Ecology and control of armyworm, *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae) in Japan, with special reference to outbreak and migration. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 63, 39-56.
- Kuwahara, Y., Kitamura, C., Takahashi, S., Hara, H., Ishii, S., Fukami, H., 1971. Sex pheromone of the almond moth and the Indian meal moth: cis-9,trans-12-tetradecadienyl acetate. *Science.* 171, 801-802.
- Kwon, M., Kim, J., Maharjan, R., Choi, J.-Y., Kim, G.H., 2017. Change in the distribution of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae), in Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.* 20, 1249-1253.
- Lee, G.-S., Seo, B.Y., Lee, J., Kim, H., Song, J.H., Lee, W., 2020. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera, Noctuidae), a new migratory pest in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 59, 73-78.
- Lee, J.O., Park, J.S., Goh, H.G., Kim, J.H., Jun, J.G., 1981. Field study on mating confusion of synthetic sex pheromone in the striped rice borer, *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Korean J. Pl. Prot.* 20, 25-30.
- Lin, Y.M., Chow, Y.S., Tzeng, H.C., 1982. Field trapping of the diamondback moth *Plutella xylostella* (Linnaeus) and *Pseudaletia separata* Walker using the synthetic sex pheromone of the diamondback moth pest of cruciferous vegetables, Taiwan. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.* 21, 121-127.
- Lu, P.-F., Qiao, H.-L., Luo, Y.-Q., 2013. Female sex pheromone blends and male response of the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Crambidae), in two populations of mainland China. *Z. Naturforsch. C.* 68, 416-427.
- Mitchell, E.R., Sugie, H., Tumlinson, J.H., 1983. *Spodoptera exigua*: capture of feral males in traps baited with blends of pheromone components. *J. Chem. Ecol.* 9, 95-104.
- Mochida, O., Arida, G.S., Tatsuki, S., Fukami, J., 1984. A field test on a third component of the female sex pheromone of the rice striped stem borer, *Chilo suppressalis*, in the Philippines. *Entomol. Exp. Appl.* 36, 295-296.
- Mochizuki, F., Shibuya, T., Ihara, T., Wakamura, S., 1993. Electrophysiological responses of the male antenna to compounds found in the female sex pheromone gland of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl. Entomol. Zool.* 28, 489-496.
- Mochizuki, F., Takai, M., Shibuya, T., Wakamura, S., 1994. Field trap responses of male *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to (Z,E)-9,12-tetradecadien-1-ol and (Z)-9-tetradecenyl acetate. *Appl. Entomol. Zool.* 29, 436-438.
- Mochizuki, F., Aok, Y., Sugie, H., Tabata, J., Takahashi, A., Higuchi, H., 2009. Sex attractant of the bean webworm, *Pleuroptya ruralis* (Crambidae: Pyraustinae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 53, 53-56.
- Na, J.H., Ryoo, M.I., Sone, J., 2000. A phenology model for seasonal occurrence of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae)

- in stored product storage. *J. Asia-Pac. Entomol.* 3, 77-81.
- Nagayama, A., Wakamura, S., Taniai, N., Arakaki, N., 2006. Reinvestigation of sex pheromone components and attractiveness of synthetic sex pheromone of the pink borer, *Sesamia inferens* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) in Okinawa. *Appl. Entomol. Zool.* 41, 399-404.
- NAQS (National Agricultural Products Quality Management Service) website, N.D. <https://www.naqs.go.kr> (Accessed on 26 December, 2021).
- NCPMS (National Crop Pest Management System) website, N.D. <https://ncpms.rda.go.kr> (Accessed on 26 December, 2021).
- Nesbitt, B.F., Beevor, P.S., Hall, D.R., Lester, R., Dyck, V.A., 1975. Identification of the female sex pheromones of the moth, *Chilo suppressalis*. *J. Insect Physiol.* 21, 1883-1886.
- Nesbitt, B.F., Beevor, P.S., Hall, D.R., Lester, R., Dyck, V.A., 1976. Identification of the female sex pheromone of the purple stem borer moth, *Sesamia inferens*. *Insect Biochem.* 6, 105-107.
- Nesbitt, B.F., Beevor, P.S., Hall, D.R., Lester, R., 1979. Female sex pheromone components of the cotton bollworm, *Heliothis armigera*. *J. Insect Physiol.* 25, 535-541.
- Nesbitt, B.F., Beevor, P.S., Hall, D.R., Lester, R., 1980. (Z)-9-hexadecenal: a minor component of the female sex pheromone of *Heliothis armigera* (Hübner) (Lepidoptera, Noctuidae). *Entomol. Exp. Appl.* 27, 306-308.
- Ohta, K., Tatsuki, S., Uchiumi, K., Kurihara, M., Fukami, J., 1976. Structures of sex pheromones of rice stem borer. *Agric. Biol. Chem.* 40, 1897-1899.
- Ono, T., Charlton, R.E., Cardé, R.T., 1990. Variability in pheromone composition and periodicity of pheromone titer in potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *J. Chem. Ecol.* 16, 531-542.
- Ono, T., Chouvalitwongporn, P., Saito, T., 1997. Comparison of the sex pheromone system between Japanese and Thai populations of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Appl. Entomol. Zool.* 32, 514-517.
- Paik, C.-H., Lee, G.-H., Choi, M.-Y., Seo, H.-Y., Kim, D.-H., Hwang, C.-Y., Kim, S.-S., 2007. Status of the occurrence of insect pests and their natural enemies in soybean fields of Honam Province. *Korean J. Appl. Entomol.* 46, 275-280.
- Park, J.D., Goh, H.G., Lee, J.H., Lee, W.J., Kim, K.J., 1991. Flight activity and injury characteristics of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), (Lepidoptera: Noctuidae) in southern region of Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 30, 124-129.
- Park, J.D., Goh, H.G., 1992. Control of beet armyworm, *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), using synthetic sex pheromone. I. Control by mass trapping in *Allium fistulosum* field. *Korean J. Appl. Entomol.* 31, 45-49.
- Park, J.D., Kim, K.C., 1995. Control of beet armyworm, *Spodoptera exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae), using synthetic sex pheromone. II. Control using mating disruption dispensers in field. *Korean J. Appl. Entomol.* 34, 169-173.
- Park, C.-G., Seo, B.Y., Jung, J.K., Kim, H.-Y., Lee, S.-W., Seong, K.Y., 2017. Forecasting spring emergence of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae), based on postdiapause development rate. *J. Econ. Entomol.* 110, 2443-2451.
- Persoons, C.J., Voerman, S., Verwiël, P.E.J., Ritter, F.J., Nooyenand, W.J., Minks, A.K., 1976. Sex pheromone of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella*: isolation, identification and field evaluation. *Entomol. Exp. Appl.* 20, 289-300.
- Persoons, C.J., Van der Kraan, C., Nooijen, W.J., Ritter, F.J., Voerman, S., Baker, T.C., 1981. Sex pheromone of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*: isolation, identification and preliminary field evaluation. *Entomol. Exp. Appl.* 30, 98-99.
- Piccardi, P., Capizzi, A., Cassani, G., Spinelli, P., Arsura, E., Massardo, P., 1977. A sex pheromone component of the old world bollworm *Heliothis armigera*. *J. Insect Physiol.* 23, 1443-1445.
- Preti, M., Verheggen, F., Angeli, S., 2021. Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. *J. Pest Sci.* 94, 203-217.
- Raman, K.V., 1982. Field trials with the sex pheromone of the potato tuberworm. *Environ. Entomol.* 11, 367-370.
- Rao, A.G., Reddy, D.D.R., Krishnaiah, K., Beevor, P.S., Cork, A., Hall, D.R., 1995. Identification and field optimisation of the female sex pheromone of the rice leafhopper, *Cnaphalocrocis medinalis* in India. *Entomol. Exp. Appl.* 74, 195-200.
- Rizvi, S.A.H., George, J., Reddy, G.V., Zeng, X., Guerrero, A., 2021. Latest developments in insect sex pheromone research and its application in agricultural pest management. *Insects* 12, 484. doi:10.3390/insects12060484
- Roelofs, W.L., Kochansky, J.P., Cardé, R.T., Kennedy, G.G., Henrick, C.A., Labovitz, J.N., Corbin, V.L., 1975. Sex pheromone of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella*. *Life Sci.* 17, 699-706.
- Sato, Y., Takahashi, S., Sakai, M., Kodama, T., 1980. Attractiveness of the synthetic sex pheromone to the males of the armyworm, *Leucania separata* Walker and the loyey leafworm, *Leucania loyeyi* Duponchel. *Appl. Entomol. Zool.* 15, 334-340.
- Schläger, S., Beran, F., Groot, A.T., Ulrichs, C., Veit, D., Paetz, C., Karumuru, B.R., Srinivasan, R., Schreiner, M., Mewis, I., 2015. Pheromone blend analysis and cross-attraction among populations of *Maruca vitrata* from Asia and West Africa. *J. Chem. Ecol.* 41, 1155-1162.
- Seo, B.Y., Jung, J.K., Lee, G.-S., Yang, C.Y., Cho, J., Kim, Y.P., 2020. Sex pheromone trapping of *Spodoptera frugiperda* (Noctuidae: Lepidoptera) in Korea and the distribution of intraspecies-specific single nucleotide polymorphisms in the cytochrome c oxidase subunit I (COI). *Korean J. Appl. Entomol.* 59, 217-231.
- Sower, L.L., Vick, K.W., Tumlinson, J.H., 1974. (Z,E)-9,12-tetradecadien-1-ol: a chemical released by female *Plodia interpunctella* that inhibits the sex pheromone response of male *Cadra*

- cautella*. Environ. Entomol. 3, 120-122.
- Sugie, H., Kawasaki, K., Higuchi, H., Kitamura, C., Tamaki, Y., 1990. Identification of the sex pheromone of the three-spotted plusia, *Acanthoplusia agnata* Staudinger (Lepidoptera: Noctuidae). Appl. Entomol. Zool. 25, 467-473.
- Sun, F., Hu, Y.-Y., Du, J.-W., 2002. The sex pheromone communication system of *Spodoptera litura* (Fabricus). Acta Entomol. Sin. 45, 404-407.
- Sun, F., Du, J.-W., Chen, T.-H., 2003. The behavioral responses of *Spodoptera litura* (F.) males to the female sex pheromone in wind tunnel and field trapping tests. Acta Entomol. Sin. 46, 126-130.
- Takahashi, S., Kawaradani, M., Sato, Y., Sakai, M., 1979. Sex pheromone components of *Leucania separata* Walker and *Leucania loreyi* Duponchel. Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 23, 78-81.
- Tamaki, Y., Noguchi, H., Yushima, T., 1973. Sex pheromone of *Spodoptera litura* (F.): isolation, identification, and synthesis. Appl. Entomol. Zool. 8, 200-203.
- Tamaki, Y., Ohsawa, T., Yushima, T., Noguchi, H., 1976. Sex pheromone and related compounds secreted by the virgin females of *Spodoptera litura* (F.). Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. 20, 81-86.
- Tamaki, Y., Sugie, H., Ando, Y., Yamashita, A., Ooya, S., Kamiwada, H., Suzuki, H., Fukumoto, T., 1996. Sweet potato leaf worm attracting agent. Japanese Patent 07134630, filed April 25, 1995.
- Tanaka, F., Yabuki, S., Tatsuki, S., Tsumuki, H., Kanno, H., Hattori, M., Usui, K., Kurihara, M., Uchiumi, K., Fukami, J., 1987. Control effect of communication disruption with synthetic pheromones in paddy fields in the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (WALKER) (Lepidoptera: Pyralidae). Jpn. J. Appl. Ent. Zool. 31, 125-133.
- Tatsuki, S., Kurihara, M., Usui, K., Ohguchi, Y., Uchiumi, K., Fukami, J., 1983. Sex pheromone of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae): the third component, Z-9-hexadecenal. Appl. Entomol. Zool. 18, 443-446.
- Teal, P.E.A., Heath, R.R., Dueben, B.D., Coffelt, J.A., Vick, K.W., 1995. Production and release of (Z,E)-9,12-tetradecadienal by sex pheromone glands of females of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). J. Chem. Ecol. 21, 787-799.
- Toth, M., Bellas, T.E., Rothschild, G.H.L., 1984. Role of pheromone components in evoking behavioral responses from male potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). J. Chem. Ecol. 10, 271-280.
- Tumlinson, J.H., Mitchell, E.R., Teal, P.E.A., Heath, R.R., Mengelkoch, L.J., 1986. Sex pheromone of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith): identification of components critical to attraction in the field. J. Chem. Ecol. 12, 1909-1926.
- Tumlinson, J.H., Mitchell, E.R., Sonnet, P.E., 1981. Sex pheromone components of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. J. Environ. Sci. Health. A 16, 189-200.
- Tumlinson, J.H., Mitchell, E.R., Yu, H.-S., 1990. Analysis and field evaluation of volatile blend emitted by calling virgin females of beet armyworm moth, *Spodoptera exigua* (Hübner). J. Chem. Ecol. 16, 3411-3423.
- Uhm, K.B., Cho, J.R., Park, C.G., Lee, M., Park, H.H., 2006. Study on the forecasting of moths occurrence using sex pheromone baited trap, in: National Institute of Agricultural Sciences & Technology(NIAST) (Ed.), Research Report, NIAST, RDA, Suwon, pp. 212-232.
- Unbehend, M., Hanniger, S., Vasquez, G.M., Juarez, M.L., Reisig, D., McNeil, J.N., Meagher, R.L., Jenkins, D.A., Heckel, D.G., Groot, A.T., 2014. Geographic variation in sexual attraction of *Spodoptera frugiperda* corn- and rice-strain males to pheromone lures. PLoS ONE 9, e89255. doi:10.1371/journal.pone.0089255
- Vacas, S., Navarro, I., Primo, J., Navarro-Llopis, V., 2016. Mating disruption to control the striped rice stem borer: pheromone blend, dispensing technology and number of releasing points. J. Asia-Pac. Entomol. 19, 253-259.
- Vang, L.V., Ishitani, M., Komai, F., Yamamoto, M., Ando, T., 2006. Sex pheromone of the soybean podborer, *Leguminivora glycinivorella* (Lepidoptera: Tortricidae): identification and field evaluation. Appl. Entomol. Zool. 41, 507-513.
- Voerman, S., Rothschild, G.H.L., 1978. Synthesis of the two components of the sex pheromone system of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae) and field experience with them. J. Chem. Ecol. 4, 531-542.
- Wakamura, S., 1985. Identification of sex-pheromone components of the podborer, *Matsumuraeses falcana* (Walshingham) (Lepidoptera: Tortricidae). Appl. Entomol. Zool. 20, 189-198.
- Wakamura, S., Kegasawa, K., 1986. Sex pheromone of the podborer, *Matsumuraeses falcana* (Walshingham) (Lepidoptera: Tortricidae): Activity of the third component, (E,Z)-7,9-dodecadienyl acetate, and 3-component formulation. Appl. Entomol. Zool. 21, 334-339.
- Wakamura, S., 1987. Sex pheromone of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae): field attraction of male moths in Japan to (Z,E)-9,12-tetradecadienyl acetate and (Z)-9-tetradecen-1-ol. Appl. Entomol. Zool. 22, 348-351.
- Wei, Z.-H., Pan, F.-M., 1985. Preliminary report on the sex pheromone of the armyworm *Mythimna separata*. Acta Entomol. Sin. 28, 348-350.
- Witzgall, P., Kirsch, P., Cork, A., 2010. Sex pheromones and their impact on pest Management. J. Chem. Ecol. 36, 80-100.
- Yamaoka, R., Fukami, H., Ishii, S., 1976. Isolation and identification of the female sex pheromone of the potato tuberworm moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller). Agric. Biol. Chem. 40, 1971-1977.
- Yan, J., Mei, X., Feng, J., Lin, Z., Reitz, S., Meng, R., Gao, Y., 2021. Optimization of the sex pheromone-based method for trapping field populations of *Phthorimaea operculella* (Zeller) in South China. J. Integr. Agric. 20, 2727-2733.
- Yeh, S.F., Lee, K.C., Chang, K.-T., Yen, F.-C., Hwang, J.-S., 1989.

- 
- Sex pheromone components from Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) in Taiwan. *J. Chem. Ecol.* 15, 497-505.
- Yum, K.H., 2010. Identification of sex pheromone of the soybean podworm, *Matsumuraeses phaseoli* Matsumura (Lepidoptera: Tortricidae). MS Thesis, Chungnam National University.
- Yushima, T., Tamaki, Y., 1974. Field evaluation of a synthetic sex pheromone, "Litlure", as an attractant for males of *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Appl. Entomol. Zool.* 9, 147-152.
- Zhang, J.-P., Salcedo, C., Fang, Y.-L., Zhang, R.-J., Zhang, Z.-N., 2012. An overlooked component: (Z)-9-tetradecenal as a sex pheromone in *Helicoverpa armigera*. *J. Insect Physiol.* 58, 1209-1216.
- Zhu, P., Kong, F., Yu, Y., 1987a. Sex pheromone of Oriental armyworm *Mythimna separata* Walker. *J. Chem. Ecol.* 13, 977-981.
- Zhu, P., Kong, F., Wang, Z., 1987b. Sex pheromone components of purple stem borer *Sesamia inferens* (Walker). *J. Chem. Ecol.* 13, 983-989.
- Zhu, J.-W., Ryne, C., Unelius, C.R., Valeur, P.G., Löfstedt, C., 1999. Reidentification of the female sex pheromone of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*: evidence for a four-component pheromone blend. *Entomol. Exp. Appl.* 92, 137-146.