

과수해충 페로몬 연구의 현황과 향후 방향

양창열*

농촌진흥청 국립원예특작과학원

Current Status and Future Directions of Pheromone Research on Orchard Pests in Korea

Chang Yeol Yang*

National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

ABSTRACT: Numerous insect pests threaten the Korean orchard industry through feeding on various tissues of fruit trees. Generally, the control of economically important orchard pests is based on the use of chemical insecticides. Owing to growing concerns regarding the environmental and human health effects of insecticides, environment-friendly pest control strategies are urgently needed. Pheromones of orchard pests could lead to an environmentally safe control system based on mating disruption or mass trapping. This review summarizes the functions and compounds of known pheromones from 51 orchard pests in Korea. The pheromones identified to date from 14 species in the families Miridae, Aphididae, Diaspididae, Pseudococcidae, Rutelidae, Cecidomyiidae, and Eurytomidae and 26 species in the order Lepidoptera are female-produced sex pheromones that attract only males. In contrast, all known examples for 11 species in the families Alydidae, Pentatomidae, Thripidae and Cerambycidae are male-produced aggregation pheromones that attract both sexes. Research on pheromones in new pests, kairomones in key orchard pests, mating disruption dispensers to generate prolonged release of the pheromones, and trap design and trap location for mass trapping will be required for the expanded use of pheromones and other semiochemicals in orchard pest management in the future.

Key words: Fruit trees, Insect pests, Pheromones, Environmentally safe control

초록: 많은 해충이 과수의 다양한 조직을 가해하여 국내 과수산업을 위협하고 있다. 경제적으로 중요한 과수 해충의 방제는 일반적으로 화학 살충제에 의존하고 있다. 환경과 인류 건강에 미치는 살충제의 영향에 대한 우려가 증가함에 따라 환경 친화적인 해충방제 전략이 시급하게 필요한 실정이다. 과수 해충의 페로몬은 교미교란이나 대량포획과 같이 환경적으로 안전한 방제 체계를 끌어낼 수 있다. 본 중설은 과수 해충 51종에서 알려진 페로몬의 유형과 성분을 요약한다. 장님노린재과, 진딧물과, 각지벌레과, 가루각지벌레과, 풍뎅이과, 흑과리과 및 씨살이좀벌레과에 속하는 14종과 나비목의 26종은 암컷이 성페로몬을 생산하여 수컷을 유인한다. 반대로 호리허리노린재과, 노린재과, 총채벌레과 및 하늘소과에 속하는 11종은 수컷이 집합페로몬을 생산하여 암컷과 수컷 모두를 유인한다. 향후 과수 해충 관리에서 페로몬과 다른 신호화학물질의 사용을 확대하기 위해서는 새로운 해충의 페로몬, 주요 해충의 카이로몬, 장기간 페로몬 방출용 교미교란제 및 대량포획을 위한 트랩 디자인과 트랩 설치에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

검색어: 과수, 해충, 페로몬, 친환경 방제

우리나라의 과수 재배면적은 2021년 현재 총 141,645 ha이며 과종별 재배면적은 사과, 감, 복숭아, 감귤, 포도, 배 순으로

넓다(KOSIS 국가통계포털, 2021). 과거 20년 전에 비해 사과와 복숭아 재배면적은 증가했고 배, 포도, 감귤, 감 등은 감소하였다. 기타 과수로 분류되고 있는 블루베리, 양앵두, 무화과, 망고 등의 면적은 점차 증가하고 있다. 과수는 영년생 작물로서 같은 지역에서 여러 해 동안 재배되기 때문에 매년 특정 시기가

*Corresponding author: cyyang@korea.kr

Received December 29 2021; Revised February 8 2022

Accepted February 18 2022

되면 특정 해충의 피해를 받는 특징을 가지고 있다. 이러한 과수 해충의 발생 양상 때문에 각 해충의 생활사를 고려하여 방제 적기에 살충제를 살포하면 방제효율을 높일 수 있지만, 과중별로 발생하는 해충이 다양하고 각 해충의 방제 적기를 결정하는 방법이 쉽지 않아 일반 농가에서는 과수 생육 기간 중에 주기적으로 살충제를 살포하여 해충을 방제하고 있는 실정이다.

과수원에서 살충제를 주기적으로 살포하여 해충을 방제하는 전략은 단순하면서도 효율적일 수 있지만 필요하지 않은 시기에도 살충제를 살포함으로써 경영비 증가, 해충의 약제 저항성 유발, 농업환경 오염 등의 부작용을 초래하고 있다. 건강에 대한 국민의 높은 관심으로 정부는 식품 안전성에 대한 요구에 부응하고자 ‘품질 좋은 먹거리 공급’을 국정운영 계획의 하나(농식품바우처 시범사업)로 수립하고 친환경농업지구 조성을 확대하고 있다. 따라서 농약의 오남용을 초래하는 관행적인 해충방제 방식을 탈피하여 과학적이고 합리적인 방식을 추구하기 위해 살충제를 보완 또는 대체할 수 있는 새로운 수단이 시급히 마련되어야 한다. 해충의 페로몬을 활용한 방제기술은 유기합성 살충제가 가지고 있는 부작용을 해소할 수 있는 유력한 대안이 될 수 있다(Cardé and Minks, 1995; Kim et al., 2021).

페로몬이란 같은 종의 동물끼리 의사소통에 사용되는 화학적 신호로서, 체외 분비성 물질이며 성페로몬, 집합페로몬, 경보페로몬, 계급분화페로몬 등 행동과 생리를 조절하는 여러 종

류가 존재한다. 페로몬은 종 특이성이 뚜렷하고, 적은 양에서 활성이 강하며 동물에 독성이 없다는 매력 때문에 오래전부터 친환경 해충 방제제로 주목받아 왔다. 특히 과수를 가해하는 주요 해충 중에는 페로몬으로 소통하는 대표적인 곤충 집단인 나방류와 노린재류가 많아 과수해충의 발생예찰과 방제 수단으로 페로몬이 널리 이용되고 있다(El-Sayed et al., 2006; Witzgall et al., 2010).

본 초설에서는 국내 과수산업의 경쟁력 강화를 위한 친환경 해충방제 기술의 확산을 기대하며 지금까지 반세기 동안 국내 외에서 보고된 우리나라 과수해충의 페로몬 연구 현황을 소개하고자 한다. ‘과수 병해충 도감(2008)’과 농촌진흥청에 발간한 각종 ‘과수 농업기술길잡이’에 언급된 해충 중에서 방제 측면에서 활용 가치가 높은 성페로몬과 집합페로몬이 보고된 과수해충 51종에 대한 자료를 요약하였다. 본문의 내용은 불완전변태류인 노린재목(Hemiptera)과 총채벌레목(Thysanoptera)을 먼저 나열하고, 이어 완전변태류인 딱정벌레목(Coleoptera), 파리목(Diptera), 나비목(Lepidoptera), 그리고 벌목(Hymenoptera) 순으로 나열하였다(Table 1). 페로몬으로 여러 가지 성분을 이용하는 해충의 경우에는 원문마다 혼합물의 성분 비율을 표기하는 방식이 달랐기 때문에 독자의 이해를 돕기 위해 주성분 100에 대한 부성분의 상대적인 비율로 제시하였다.

Table 1. Host plants and pheromone components of orchard pests in Korea

Order and Family	Scientific name	Host plant	Function	Component ^a (Ratio)	Reference
Hemiptera					
Miridae	<i>Apolygus spinolae</i>	apple, peach, grape, persimmon, jujube	sex	E2-hexenyl butyrate (100) E2-4-oxo-6:Ald (7)	Yang et al., 2014
Alydidae	<i>Riptortus clavatus</i>	apple, persimmon	aggregation	E2-hexenyl E2-hexenoate (100) E2-hexenyl Z3-hexenoate (20) myristyl isobutyrate (20) octadecyl isobutyrate (10)	Leal et al., 1995; Yasuda et al., 2007; Kim et al., 2015
	<i>Plautia stali</i>	apple, peach, citrus, cherry, persimmon	aggregation	me-E2,E4,Z6-decatrienoate	Sugie et al., 1996
	<i>Halyomorpha halys</i>	apple, peach, citrus, cherry, persimmon	aggregation	(3S,6S,7R,10S)-murgantiol (100) (3R,6S,7R,10S)-murgantiol (28)	Khrimian et al., 2014
Pentatomidae					
	<i>Dolycoris baccarum</i>	apple, peach, blueberry	aggregation	α-bisabolol (100) α-trans-bergamotene (10)	Yang et al., 2019
	<i>Nezara antennata</i>	apple	aggregation	trans-1,2-epoxy-Z-α-bisabolene (100) cis-1,2-epoxy-Z-α-bisabolene (25)	Aldrich et al., 1993
	<i>Nezara viridula</i>	persimmon	aggregation	cis-1,2-epoxy-Z-α-bisabolene (100) trans-1,2-epoxy-Z-α-bisabolene (82)	Aldrich et al., 1993

Table 1. Continued

Order and Family	Scientific name	Host plant	Function	Component ^a (Ratio)	Reference
Aphididae	<i>Aphis spiraeicola</i>	apple, pear, blueberry	sex	(4aS,7S,7aR)-nepetalactone (100) (1R,4aS,7S,7aR)-nepetalactol (50)	Hong et al., 2003
	<i>Hyalopterus pruni</i>	peach, plum	sex	(4aS,7S,7aR)-nepetalactone (100) (1R,4aS,7S,7aR)-nepetalactol (100)	Symmes et al., 2012
	<i>Myzus persicae</i>	peach, plum, apricot	sex	(4aS,7S,7aR)-nepetalactone (?) (1R,4aS,7S,7aR)-nepetalactol (?)	Dawson et al., 1990
	<i>Tuberocephalus momonis</i>	peach	sex	(4aS,7S,7aR)-nepetalactone (100) (1R,4aS,7S,7aR)-nepetalactol (18)	Boo et al., 2000
Diaspididae	<i>Pseudaulacaspis pentagona</i>	peach, plum, apricot, cherry, kiwi fruit	sex	pentagonol propionate	Heath et al., 1979
Pseudococcidae	<i>Crisicoccus matsumotoi</i>	pear	sex	3me-3-butenyl 5me-hexanoate	Tabata et al., 2012
	<i>Planococcus kraunhiae</i>	pear, persimmon	sex	2-isopropyliden-5me-4-hexenyl butyrate	Sugie et al., 2008
	<i>Pseudococcus comstocki</i>	pear, peach, grape, apricot	sex	2me,6me-delta1,5-7-3:Ac	Negishi et al., 1980
	<i>Pseudococcus cryptus</i>	citrus	sex	cryptuslure	Arai et al., 2003
Thysanoptera					
Thripidae	<i>Frankliniella intonsa</i>	fig, jujube	aggregation	neryl S-2-methylbutanoate (100) R-lavandulyl acetate (58)	Zhang et al., 2011; Zhu et al., 2012
	<i>Frankliniella occidentalis</i>	citrus	aggregation	neryl S-2-methylbutanoate (100) R-lavandulyl acetate (8)	Hamilton et al., 2005; Zhu et al., 2012
Coleoptera					
Rutelidae	<i>Blitopertha orientalis</i>	blueberry	sex	Z7-14-2:Kt (100) E7-14-2:Kt (14)	Leal, 1993
	<i>Phyllopertha diversa</i>	blueberry	sex	1me,3me-2,4-quinazolinodione	Leal et al., 1997
Cerambycidae	<i>Aromia bungii</i>	peach, plum	aggregation	E2-cis-6R,7S-epo-9:Ald	Xu et al., 2017; Yasui et al., 2019
	<i>Xylotrechus pyrrhoderus</i>	grape	aggregation	(2S,3S)-octanediol (100) (2S)-hydroxy-8-3:Kt (25)	Sakai et al., 1984
	<i>Anoplophora chinensis</i>	apple, citrus	aggregation	4-heptyloxy-4:OH	Hansen et al., 2015
Diptera					
Cecidomyiidae	<i>Dasineura oxycoccana</i>	blueberry	sex	(2R,14R)-diacetoxyheptadecane	Fitzpatrick et al., 2013
Lepidoptera					
Carposinidae	<i>Carposina sasakii</i>	apple, pear, peach, plum, jujube	sex	Z7-20-11:Kt	Tamaki et al., 1977; Shirasaki et al., 1979; Han et al., 2000
	<i>Nokona regalis</i>	grape	sex	E3,Z13-18:OH	Guo et al., 1990
	<i>Synanthedon bicingulata</i>	peach, plum, apricot, cherry	sex	Z3,Z13-18:Ac (100) E3,Z13-18:Ac (67)	Yang et al., 2011b
Cossidae	<i>Synanthedon haitangvora</i>	apple, pear	sex	E2,Z13-18:Ac (100) Z3,Z13-18:Ac (87)	Yang et al., 2009b
	<i>Synanthedon tenuis</i>	persimmon	sex	Z3,Z13-18:OH	Yang et al., 2012
	<i>Glossospehia romanovi</i>	grape	sex	Z3,Z13-18:OH (100) Z3,Z13-18:Ac (5~12)	Naka et al., 2010; Yang et al., 2011a
Stathmopodidae	<i>Stathmopoda auriferella</i>	kiwi fruit	sex	E5-16:Ac	Yang et al., 2013
	<i>Stathmopoda masinissa</i>	persimmon	sex	E4,Z6-16:Ac (100) E4,Z6-16:OH (100)	Naka et al., 2003; Kim et al., 2014

Table 1. Continued

Order and Family	Scientific name	Host plant	Function	Component ^a (Ratio)	Reference
Geometridae	<i>Ascotis selenaria</i>	citrus, kiwi fruit	sex	Z6,Z9-3S,4R-epo-19:Hy (100) Z6,Z9-3R,4S-epo-19:Hy (100)	Cossé et al., 1992; Ando et al., 1997; Choi et al., 2012
Gracillariidae	<i>Phyllocnistis citrella</i>	citrus	sex	Z7,Z11,E13-16:Ald (100) Z7,Z11-16:Ald (33)	Leal et al., 2006
	<i>Phyllonorycter ringoniella</i>	apple	sex	E4,Z10-14:Ac (100) Z10-14:Ac (67)	Sugie et al., 1986; Jung and Boo, 1997; Boo and Jung, 1998
Noctuidae	<i>Spodoptera litura</i>	grape, persimmon	sex	Z9,E11-14:Ac (100) Z9,E12-14:Ac (14)	Tamaki et al., 1973
Crambidae	<i>Conogethes punctiferalis</i>	peach, blueberry, persimmon, chestnut	sex	E10-16:Ald (100) Z10-16:Ald (18)	Konno et al., 1982; Jung et al., 2000
Pyralidae	<i>Acrobasis pirivorella</i>	pear	sex	Z9-15:Ac (100) 15:Ac (6)	Tabata et al., 2009
	<i>Euzophera batangensis</i>	persimmon, jujube	sex	Z9,E12-14:OH	Kalinova et al., 2006; Wen et al., 2009; Kim et al., 2017
Psychidae	<i>Eumeta variegata</i>	persimmon	sex	(3R,13R,1S)-ethyl-2me-propyl-3me, 13me-pentadecanoate	Gries et al., 2006; Mori et al., 2010
Tortricidae	<i>Ancylis sativa</i>	jujube	sex	E9-12:Ac (100) Z9-12:Ac (25)	Lin et al., 1984; Ma et al., 1999
	<i>Grapholita dimorpha</i>	apple, pear, plum	sex	Z8-12:Ac (100) E8-12:Ac (18) Z8-14:Ac (12)	Murakami et al., 2005; Jung et al., 2014
	<i>Grapholita molesta</i>	apple, pear, peach, plum, cherry	sex	Z8-12:Ac (100) E8-12:Ac (6~7) Z8-12:OH (2~30)	Roelofs et al., 1969; Cardé et al., 1979; Han et al., 2001; Yang et al., 2002
	<i>Adoxophyes honmai</i>	pear, blueberry, kiwi fruit, persimmon	sex	Z9-14:Ac (100~48) Z11-14:Ac (100~49) E11-14:Ac (6~7) 10me-12:Ac (0.4~3)	Tamaki et al., 1971a; Tamaki et al., 1979; Yang et al., 2009a
Tortricidae	<i>Adoxophyes orana</i>	pear	sex	Z9-14:Ac (100) Z11-14:Ac (17~26) Z9-14:OH (1~3) Z11-14:OH (0.3)	Tamaki et al., 1971b; Guerin et al., 1986; Yang et al., 2009a
	<i>Adoxophyes paraorana</i>	apple, pear, peach	sex	Z11-14:Ac (100) Z9-14:Ac (3)	Yang et al., 2009a
	<i>Archips breviplicanus</i>	apple, pear	sex	E11-14:Ac (100) Z11-14:Ac (39~43)	Sugie et al., 1977; Jung et al., 2001
Lyonetiidae	<i>Lyonetia clerkella</i>	peach	sex	14Sme-1-18:Hy	Sugie et al., 1984; Sato et al., 1985
	<i>Lyonetia prunifoliella</i>	apple	sex	10Sme,14Sme-1-18:Hy	Gries et al., 1997; Park et al., 2002
Limacodidae	<i>Monema flavescens</i>	blueberry, persimmon	sex	E8-10:OH (100) E7,9-10:OH (11)	Shibasaki et al., 2013
Hymenoptera					
Eurytomidae	<i>Eurytoma maslovskii</i>	peach, apricot	sex	2Sme,10Rme-12-propionate (100) 2Sme,8Sme-10-propionate (25)	Yang et al., 2020; Ohkubo et al., 2020

^aThe chemical structures of pheromone components are abbreviated as follows. Z: (Z)-double bond, E: (E)-double bond, R and S: absolute configuration at each of the asymmetric centers, number before the hyphen: position of the double bond, number after the hyphen: carbon number of the straight chain, Ac: acetate, OH: alcohol, Ald: aldehyde, Kt: ketone, Hy: hydrocarbon, epo: epoxy group, me: methyl group.

노린재목(Hemiptera) 페로몬

노린재목에 속하는 과수해충 중에서는 노린재류 7종, 진딧물류 4종, 각지벌레류 5종에 대한 페로몬이 보고되었다. 장님노린재과(Miridae)에 속하는 애무늬고리장님노린재(*Apolygus spinolae*)의 성페로몬은 우리나라에서 포도를 가해하는 개체군으로부터 연구되었는데, 암컷 성충이 E2-hexenyl butyrate와 E2-4-oxo-6:Ald의 혼합물(100:7)을 방출하여 수컷을 유인한다는 것이 밝혀졌다(Yang et al., 2014). 한편, 장님노린재와 달리 호리허리노린재과(Alydidae)의 톱다리개미허리노린재(*Riptortus clavatus*)와 노린재과(Pentatomidae)의 6종에서는 수컷 성충이 집합페로몬을 방출하여 암컷과 수컷 모두를 유인하는 것으로 알려져 있다. 톱다리개미허리노린재의 집합페로몬은 4가지 성분으로 구성되는데, 일본에서 수행된 첫 연구에서 3가지 성분인 E2-hexenyl E2-hexenoate, E2-hexenyl Z3-hexenoate, 및 myristyl isobutyrate가 동정되었고(Leal et al., 1995), 이후에 octadecyl isobutyrate가 추가로 동정되었다(Yasuda et al., 2007). 일본에서 보고된 4가지 성분의 혼합물은 우리나라 감과 수원에서 이 해충의 예찰에 효과적인 것으로 확인되었다(Kim et al., 2015). 갈색날개노린재(*Plautia stali*)는 단일 성분 me-E2, E4,Z6-decatrienoate를 집합페로몬으로 이용한다(Sugie et al., 1996). 씩덩나무노린재(*Halyomorpha halys*)는 murgantiol (10, 11-epoxy-1-bisabolene-3-ol)을 이용하는데, 수컷은 단일 성분이 아니라 (3S,6S,7R,10S)-와 (3R,6S,7R,10S)-광학이성질체를 100:28 비율로 생산하는 것으로 밝혀졌다(Khirmian et al., 2014). 알락수염노린재(*Dolycoris baccarum*) 수컷은 α -bisabolol과 α -trans-bergamotene의 혼합물(100:10)을 방출하며 α -bisabolol 단독으로도 동종을 유인하는 것으로 조사되었다(Yang et al., 2019). 풀색노린재(*Nezara antennata*)와 남쪽풀색노린재(*Nezara viridula*)는 trans-1,2-epoxy-Z- α -bisabolene과 cis-1,2-epoxy-Z- α -bisabolene을 각각 100:25와 82:100 비율로 생산한다(Aldrich et al., 1993). 한편, 풀색노린재와 남쪽풀색노린재를 비롯한 많은 노린재에서는 집합페로몬 자체만으로 유인효과가 낮는데, 이것은 근거리에서 냄새뿐만 아니라 기주 식물을 통한 저주파 진동도 신호로 이용하기 때문으로 알려져 있다(Virant-Doberlet and Cokl, 2004).

진딧물과(Aphididae)에서는 4종에 대한 성페로몬이 연구되었다. 진딧물의 성페로몬은 가을에 산란성 암컷이 교미할 수컷을 유인하기 위해 뒷다리(중아리마디)에서 방출하는 물질로서 (4aS,7S,7aR)-nepetalactone과 (1R,4aS,7S,7aR)-nepetalactol의 혼합물로 구성된다. 조팝나무진딧물(*Aphis spiraeicola*)은 2가지 성분을 100:50(Hong et al., 2003), 복숭아가루진딧물(*Hyalop-*

terus pruni)은 100:100 (Symmes et al., 2012), 복숭아잎혹진딧물(*Tuberocephalus momonis*)은 100:18 (Boo et al., 2000) 비율로 이용하는 것으로 조사되었다. 그러나 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)의 경우에는 암컷으로부터 포집한 2성분의 양이 너무 적어 방출 비율을 제시하지 못하였다(Dawson et al., 1990).

각지벌레과(Diaspididae)의 뽕나무각지벌레(*Pseudaulacaspis pentagona*)와 가루각지벌레과(Pseudococcidae)의 4종에서 보고된 페로몬은 모두 성페로몬이며 종마다 단일 성분을 이용한다. 뽕나무각지벌레 암컷은 같은 종의 수컷을 유인하기 위해 pentagonol propionate (R,Z-3,9-dimethyl-6-isopropenyl-3,9-decadien-1-ol propionate)를 방출한다(Heath et al., 1979). 버들가루각지벌레(*Crisicoccus matsumotoi*)는 3me-3-butenyl 5me-hexanoate (Tabata et al., 2012), 온실가루각지벌레(*Planococcus kraunhiae*)는 2-isopropyliden-5me-4-hexenyl butyrate (Sugie et al., 2008), 가루각지벌레(*Pseudococcus comstocki*)는 2me,6me-delta1,5-7-3:Ac (Negishi et al., 1980), 그리고 굴애가루각지벌레(*Pseudococcus cryptus*)는 cryptuslure (1R,3R-3-isopropenyl-2,2-dimethyl cyclobutylmethyl 3-methyl-3-butenate)를 이용한다(Arai et al., 2003).

총채벌레목(Thysanoptera) 페로몬

무화과와 대추의 주요 해충인 대만총채벌레(*Frankliniella intonsa*)와 감귤 해충인 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*)에 대한 집합페로몬이 보고되었다. 두 종 모두 수컷이 neryl S-2-methylbutanoate와 R-lavandulyl acetate를 방출한다(Hamilton et al., 2005; Zhang et al., 2011). 스페인에서 실시한 야외 포획 시험에서 꽃노랑총채벌레는 neryl S-2-methylbutanoate에는 유인되지만, R-lavandulyl acetate에는 유인되지 않아 이 성분의 역할이 불분명하다고 보고하였다(Hamilton et al., 2005). 그 이후에 중국에서 조사된 결과에 따르면 대만총채벌레와 꽃노랑총채벌레는 2성분을 각각 100:58과 100:8의 비율로 방출하는데(Zhu et al., 2012), 이것은 R-lavandulyl acetate가 유사종의 유인성에 영향을 미침으로써 종간 생식격리에 중요한 역할을 할 수 있음을 암시한다.

딱정벌레목(Coleoptera) 페로몬

풍뎅이과(Rutelidae)의 2종에서 성페로몬이 보고되었고 하늘소과(Cerambycidae)의 3종에서 집합페로몬이 연구되었다. 등얼룩풍뎅이(*Blitopertha orientalis*) 암컷은 Z7-14-2:Kt와 E7-14-2:Kt의 혼합물(100:14)을 방출하며(Leal, 1993), 연다색풍뎅이

(*Phyllopertha diversa*) 암컷은 수컷을 유인하기 위해 1me,3me-2,4-quinazolinedione을 방출한다(Leal et al., 1997). 복숭아, 자두 등 핵과류의 주요 해충인 벗나무사향하늘소(*Aromia bungii*) 수컷이 방출하는 집합페로몬은 중국 개체군으로부터 E2-cis-6,7-epo-9:Ald로 동정되었고(Xu et al., 2017), 그 이후에 일본 과수원에서 실시된 포획 시험을 통해 이 물질의 손대칭성(chiral) 탄소의 입체 배열을 6R,7S로 결정하였다(Yasui et al., 2019). Sakai et al. (1984)은 포도호랑하늘소(*Xylotrechus pyrrhoderus*) 수컷이 (2S,3S)-octanediol과 (2S)-hydroxy-8-3:Kt의 혼합물을 생산하며 100:5~25 비율로 처리한 트랩에 암컷이 유인된다고 보고하였다. 감귤 해충인 알락하늘소(*Anoplophora chinensis*)는 수컷이 생산하는 4-heptyloxy-4:OH에 암컷과 수컷 모두가 유인된다(Hansen et al., 2015).

파리목(Diptera) 페로몬

혹파리과(Cecidomyiidae)인 블루베리혹파리(가칭) (*Dasineura oxycoccana*)의 성페로몬이 밝혀져 있다. Fitzpatrick et al. (2013)은 캐나다 블루베리 농장에서 채집한 이 해충 암컷의 페로몬 샘플 추출물로부터 수컷 촉각에 전기 반응을 유발하는 2가지 성분인 2,14-diacetoxyheptadecane과 2,14-diacetoxy-Z8-heptadecene을 동정하였다. 그들은 야외 포획 시험을 통해 2,14-diacetoxyheptadecane만으로도 유인성이 높으며 이 성분의 손대칭성 탄소의 입체구조가 2R,14R임을 밝혔다. 이 해충에서는 천연의 (2R,14R)-광학이성질체에 (2S,14S)-광학이성질체를 첨가하면 유인성이 매우 감소하기 때문에 합성에 적은 비용이 소요되는 라세미 혼합물을 현장에서는 이용할 수 없다.

나비목(Lepidoptera) 페로몬

페로몬이 알려진 과수 해충 중에서 나비목이 26종으로 가장 많으며 모두 성페로몬을 이용한다. 심식나방과(Carposinidae)의 복숭아심식나방(*Carposina sasakii*)은 오래전부터 동북아시아에서 사과와 복숭아에 큰 경제적 손실을 유발하는 해충이었기 때문에 약 45년 전에 일본에서 성페로몬이 보고되었다. Tamaki et al. (1977)은 암컷 추출물로부터 활성 물질인 Z7-20-11:Kt와 Z7-19-11:Kt를 분리하는 데 성공하였고 야외에서 2가지 혼합물(100:5)에 수컷 성충이 유인됨을 확인하였다. 그 이후에 일본과 한국에서 수행된 포획 시험에서 Z7-20-11:Kt와 Z7-19-11:Kt의 혼합물과 Z7-20-11:Kt 단독의 유인성에 차이가 없음이 밝혀졌다(Shirasaki et al., 1979; Han et al., 2000).

굴벌레나방과(Cossidae)에 속하는 유리나방류 5종의 성페

로몬이 연구되었다. 포도유리나방(*Nokona regalis*)의 성페로몬은 중국 개체군으로부터 E3,Z13-18:OH인 것으로 밝혀졌다(Guo et al., 1990). 우리나라에서는 *Synanthedon* 속의 3종에 대한 성페로몬이 연구되었는데 복숭아유리나방(*S. bicingulata*)은 Z3,Z13-18:Ac와 E3,Z13-18:Ac의 혼합물(100:67) (Yang et al., 2011b), 사과유리나방(*S. haitangvora*)은 E2,Z13-18:Ac와 Z3,Z13-18:Ac의 혼합물(100:87) (Yang et al., 2009b), 그리고 감의 주요 해충인 애기유리나방(*S. tenuis*)은 Z3,Z13-18:OH를 이용한다(Yang et al., 2012). 한편 포도를 가해하는 큰유리나방(*Glossospehia romanovi*)은 일본 개체군으로부터 Z3,Z13-18:OH와 Z3,Z13-18:Ac의 혼합물(100:5)을 이용한다는 것이 밝혀졌는데(Naka et al., 2010), 이것은 비슷한 시기에 우리나라 개체군에서 조사된 결과(100:12 비율)와 큰 차이가 없었다(Yang et al., 2011a).

감꼭지나방과(Stathmopodidae)인 열매꼭지나방(*Stathmopoda auriferella*)과 감꼭지나방(*Stathmopoda masinissa*)에서도 성페로몬이 밝혀졌다. 참다래의 주요 해충인 열매꼭지나방은 암컷이 E5-16:Ac를 방출하여 수컷을 유인한다(Yang et al., 2013). Naka et al. (2003)은 일본 감나무에서 채집한 감꼭지나방의 암컷 추출물로부터 수컷 촉각에 전기적 활성을 유발하는 3가지 성분(E4,Z6-16:Ald, E4,Z6-16:Ac, E4,Z6-16:OH)을 동정하였고, 야외 포획시험에서 E4,Z6-16:Ac 단독으로 수컷 성충을 유인하며 나머지 2가지 성분의 역할은 불분명하다고 보고하였다. 그러나 우리나라 감 과수원에서 실시된 포획시험에서는 수컷 성충이 E4,Z6-16:Ac 단독보다는 E4,Z6-16:Ac와 E4,Z6-16:OH의 혼합물(100:100)에 더 많이 유인되는 것으로 나타났다(Kim et al., 2014).

자나방과(Geometridae)인 네눈썹가자나방(*Ascotis selenaria*)에 대한 성페로몬은 이스라엘 개체군으로부터 Z6,Z9-3S,4R-epo-19:Hy임이 밝혀졌다(Cossé et al., 1992). 그러나 Ando et al. (1997)은 일본산 아종(*A. selenaria cretacea*)의 주성분이 Z6,Z9-3R,4S-epo-19:Hy라고 보고하였는데, 이것은 손대칭성 탄소 3번과 4번의 입체 배열이 이스라엘의 그것과 정반대이다. 흥미롭게도 우리나라 여러 지역에서 (3S,4R)-과 (3R,4S)-광학이성질체로 시행된 포획시험에서는 네눈썹가자나방 수컷이 단독 성분보다는 혼합물이 더 많이 유인되는 것으로 밝혀졌다(Choi et al., 2012).

가는나방과(Gracillariidae)인 굴굴나방(*Phyllocnistis citrella*)과 사과굴나방(*Phyllonorycter ringoniella*)의 성페로몬이 동정되었다. Leal et al. (2006)은 굴굴나방의 브라질 개체군으로부터 암컷 성페로몬이 Z7,Z11,E13-16:Ald와 Z7,Z11-16:Ald의 혼합물(100:33)임을 보고하였다. 사과굴나방의 암컷 성페로몬

은 일본에서 처음 보고되었는데, Ujiye et al. (1986)은 암컷 추출물로부터 2가지 물질을 분리하고 주성분이 단일불포화된 14:Ac이며 부성분이 이중불포화된 14:Ac임을 보고하였다. 같은 시기에 Sugie et al. (1986)은 야외 생물검정을 통해 주성분과 부성분의 정확한 구조가 각각 Z10-14:Ac와 E4,Z10-14:Ac임을 밝혔으며 100:10 혼합물의 강력한 유인력을 확인하였다. 그 후에 우리나라에서 연구된 결과는 일본의 그것과 크게 달랐는데, 수원외과원에서 채집한 암컷 성충은 E4,Z10-14:Ac를 주성분으로 생산하며(Jung and Boo, 1997), 야외에서 E4,Z10-14:Ac와 Z10-14:Ac의 100:67 비율에 가장 많은 수컷이 유인됨을 확인하였다(Boo and Jung, 1998).

밤나방과(Noctuidae)에 속하며 우리나라에서 다양한 농작물에 피해를 주고 있는 담배겨세미나방(*Spodoptera litura*)은 포도, 감 등 과수도 가해하고 있다. 약 50년 전에 일본에서 이 해충의 성페로몬이 Z9,E11-14:Ac와 Z9,E12-14:Ac의 혼합물(100:14)임이 밝혀졌다(Tamaki et al., 1973).

풀명나방과(Crambidae)인 복숭아명나방(*Conogethes punctiferalis*)의 성페로몬은 일본 개체군으로부터 주성분이 E10-16:Ald임이 확인되었고 야외에서 이 성분만으로는 수컷에 대한 유인성이 없으며 부성분인 Z10-16:Ald가 11~25% 첨가된 혼합물이 효과적이라고 보고하였다(Konno et al., 1982). 우리나라 복숭아명나방 개체군의 경우에는 암컷이 E10-16:Ald와 Z10-16:Ald를 100:18 비율로 생산하며 수컷은 100:25~43 비율에 유인되는 것으로 밝혀졌다(Jung et al., 2000).

명나방과(Pyralidae)인 배명나방(*Acrobasis pirivorella*)과 밤알락명나방(*Euzophera batangensis*)의 성페로몬은 일본과 중국에서 각각 연구되었다. Tabata et al. (2009)은 배명나방이 Z9-15:Ac와 15:Ac의 혼합물(100:6)을 성페로몬으로 이용한다고 보고하였다. Kalinova et al. (2006)과 Wen et al. (2009)은 중국의 대추나무에서 채집한 밤알락명나방 암컷이 Z9,E12-14:OH를 주성분으로 생산하고 수컷이 이 성분에 유인된다는 것을 밝혔다. 우리나라 감 과수원에서 Z9,E12-14:OH를 처리한 트랩에 밤알락명나방 수컷이 유인되는 것으로 나타났다(Kim et al., 2017).

주머니나방과(Psychidae)의 남방차주머니나방(*Eumeta variegata*)에 대한 성페로몬 연구는 중국 개체군을 대상으로 캐나다와 중국 연구진들에 의해 수행되었다. Gries et al. (2006)은 암컷 성충이 (1S)-1-ethyl-2me-propyl-3me,13me-pentadecanoate를 생산하고 수컷이 이 물질에 잘 반응한다고 보고하였다. 그 이후에 Mori et al. (2010)은 이 성분의 손대칭성 탄소 3번과 13번의 입체구조가 3R,13R임을 구명하였다.

잎말이나방과(Tortricidae)에 속하는 7종의 과수 해충에 대한 성페로몬이 밝혀졌다. 중국에서 연구된 결과에 따르면 대추

애기잎말이나방(*Ancylis sativa*) 암컷은 E9-12:Ac와 Z9-12:Ac를 100:25로 생산하며(Lin et al., 1984) 수컷은 100:43~54 비율에 잘 유인되는 것으로 알려져 있다(Ma et al., 1999). 한편, 근연종인 복숭아순나방붙이(*Grapholita dimorpha*)와 복숭아순나방(*Grapholita molesta*)은 2가지 주성분인 Z8-12:Ac와 E8-12:Ac의 조성이 비슷한 것으로 나타났다. 복숭아순나방붙이의 성페로몬은 일본 개체군으로부터 처음 보고되었으며 Z8-12:Ac와 E8-12:Ac를 100:18 비율로 이용한다(Murakami et al., 2005). 우리나라 복숭아순나방붙이 개체군의 성페로몬 조성은 일본 개체군과 크게 다르지 않았지만, Z8-12:Ac와 E8-12:Ac의 혼합물에 암컷 추출물에서 발견되는 부성분인 Z8-14:Ac를 첨가하면 동소종인 복숭아순나방의 유인이 억제되므로 3가지 성분을 100:18:12 비율로 혼합하면 종특이적인 유인제로 활용할 수 있다고 보고하였다(Jung et al., 2014). 동양과 서양을 막론하고 과수의 주요 해충인 복숭아순나방의 성페로몬이 처음 보고된 것은 53년 전의 일이다. Roelofs et al. (1969)은 미국 개체군으로부터 주성분이 Z8-12:Ac임을 동정하였고 그 이후에 Cardé et al. (1979)이 부성분인 E8-12:Ac와 Z8-12:OH를 추가로 동정하였다. 북미에서는 Z8-12:Ac, E8-12:Ac, 및 Z8-12:OH를 100:6:11 비율로 혼합한 유인제가 복숭아순나방의 발생예찰에 상업적으로 이용되고 있다(Murakami et al., 2005). 우리나라에서도 복숭아와 배를 가해하는 복숭아순나방의 성페로몬 연구가 진행되었는데, Z8-12:Ac와 E8-12:Ac의 비율은 북미 개체군과 큰 차이가 없었다(Han et al., 2001; Yang et al., 2002). 다만 부성분인 Z8-12:OH에 대한 반응이 과수원에 따라 차이가 있었는데, Z8-12:Ac와 E8-12:Ac의 혼합물에 Z8-12:OH를 1~10% 수준으로 첨가했을 때 복숭아 과수원에서는 첨가량이 많을수록 수컷 유인수가 감소하였으나(Han et al., 2001), 배 과수원에서는 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다(Yang et al., 2002).

우리나라 남부지역에서 배, 블루베리, 참다래, 감 등을 가해하는 차애모무늬잎말이나방(*Adoxophyes honmai*)은 일본에서 차나무의 주요 해충이기 때문에 이 종의 성페로몬은 이미 오래전부터 일본 과학자들의 연구 대상이었다. Tamaki et al. (1971a)은 50,000마리 암컷의 추출물로부터 2가지 활성 성분인 Z9-14:Ac와 Z11-14:Ac를 동정하였고 야외에서 100:50의 혼합물로 수컷 유인에 성공하였다. 몇 년 후에 그들은 2가지 부성분인 E11-14:Ac와 10me-12:Ac를 추가로 동정하였으며(Tamaki et al., 1979), 이러한 결과를 기반으로 일본에서는 Z9-14:Ac, Z11-14:Ac, E11-14:Ac 및 10me-12:Ac의 혼합물(100:49:6:3)이 차애모무늬잎말이나방의 예찰과 방제에 이용되고 있다(Mochizuki et al., 2002). 우리나라 개체군에 대해서도 성페로몬 조성이 연구되었는데, 나주, 진주 및 울주의 배 과수원에서 채집한 차애모무

니일말이나방 암컷은 위의 4가지 성분을 48:100:7:0.4의 비율로 생산하는 것으로 밝혀졌다(Yang et al., 2009a). 이처럼 우리나라와 일본의 차에모무니일말이나방 개체군 사이에는 2가지 주성분 Z9-14:Ac와 Z11-14:Ac의 최적 유인조성이 정반대인 뚜렷한 지리적 변이가 존재한다. 근연종인 애모무니일말이나방(*Adoxophyes orana*)은 유럽과 아시아에서 과수의 주요 해충이며 일본에서 성페로몬이 최초로 보고되었다. Tamaki et al. (1971b)은 사과에서 채집한 암컷의 추출물로부터 2가지 활성 성분인 Z9-14:Ac와 Z11-14:Ac를 동정하였고 야외에서 100:33의 혼합물로 수컷 유인에 성공하였다. 그 이후에 Guerin et al. (1986)은 스위스 개체군으로부터 Z9-14:Ac와 Z11-14:Ac 뿐만 아니라 2가지 부성분인 Z9-14:OH와 Z11-14:OH의 활성을 추가로 확인하여 Z9-14:Ac, Z11-14:Ac, Z9-14:OH 및 Z11-14:OH의 혼합물(100:11:11:2)을 발생예찰에 이용하였다. 우리나라에서는 이 해충이 천안과 안성의 배 과수원에서 발생하는 것이 확인되었는데, 암컷은 위의 4가지 성분을 100:26:1:0.3의 비율로 생산하는 것으로 조사되었다(Yang et al., 2009a). 또한, 우리나라 중부와 남부의 여러 지역에서는 성페로몬 조성이 차에모무니일말이나방이나 애모무니일말이나방과는 전혀 다른 새로운 종이 배나무를 가해하고 있다. 이 종의 암컷은 Z11-14:Ac와 Z9-14:Ac를 100:3의 비율로 생산하며 수컷은 암컷이 생산하는 혼합물에 선택적으로 유인된다(Yang et al., 2009a). 이러한 독특한 성페로몬 체계에 기초하여 Byun et al. (2012)은 형태학 및 유전학적 연구를 통해 이 종을 ‘사과애모무니일말이나방(*Adoxophyes paraorana*)’으로 명명하였다. 한편, 사과무니일말이나방(*Archips breviplicanus*)은 동북아시아에서 사과와 배를 가해하는데, 이 종의 성페로몬은 일본 개체군으로부터 E11-14:Ac와 Z11-14:Ac의 혼합물(100:43)인 것으로 밝혀졌다(Sugie et al., 1977). 우리나라 개체군의 성페로몬 체계는 일본의 그것과 큰 차이가 없다는 것이 확인되었다(Jung et al., 2001).

굴나방과(Lyonetiidae)에 속하는 해충 중에는 복숭아굴나방(*Lyonetia clerkella*)과 은무늬굴나방(*Lyonetia prunifoliella*)의 성페로몬이 알려져 있다. Sugie et al. (1984)은 일본의 복숭아 과수원에서 채집한 복숭아굴나방 암컷으로부터 14me-1-18:Hy를 동정하였으며, 이듬해에 Sato et al. (1985)은 야외 생물검정을 통해 이 물질의 손대칭성 탄소 14번의 입체 배열을 S로 결정하였다. 그러나 이 종의 수컷 반응에서는 광학이성질체에 대한 특이성이 없으므로 합성에 적은 비용이 소요되는 라세미 혼합물을 현장에서 활용할 수 있다. 사과의 주요 해충인 은무늬굴나방의 성페로몬은 캐나다 개체군에서 처음 연구되었다. Gries et al. (1997)은 암컷 추출물로부터 수컷의 촉각 반응을 유발하는 3가지 성분인 10me,14me-1-18:Hy, 5me,9me-18:Hy 및 5me,9me-17:Hy를

동정하였고, 야외에서 수컷은 3가지 성분을 같은 비율로 혼합한 처리에 가장 잘 유인된다는 것을 확인하였다. 그러나 우리나라 개체군에 대해서는 10me,14me-1-18:Hy만으로도 수컷을 잘 유인할 수 있으며 (10S,14S)-광학이성질체가 유인효과가 높다는 것이 발견되었다(Park et al., 2002).

나비목 페로몬의 마지막 대상 해충은 썩거나방과(Limacodidae)인 노랑썩거나방(*Monema flavescens*)이다. 이 해충은 일본에서도 블루베리, 감, 매실 등을 가해하는 것으로 알려져 있는데, Shibasaki et al. (2013)은 암컷 추출물로부터 수컷의 촉각 반응을 유도하는 2가지 성분인 E8-10:OH와 E7,9-10:OH가 100:11 비율로 발견되며, 야외에서 수컷은 이 비율의 혼합물에 잘 유인된다고 보고하였다. 지금까지 우리나라에서는 이 해충의 성페로몬에 관해 연구한 결과는 없다.

벌목(Hymenoptera) 페로몬

최근에 씨살이좀벌과(Eurytomidae)인 복숭아씨살이좀벌(*Eurytoma maslovskii*)의 성페로몬이 연구되었다. 이 해충은 우리나라에서 매실의 종자를 가해하는 해충으로서 적절한 방제 수단을 동원하지 않으면 거의 모든 과실이 피해를 받을 정도가 피해가 심각한 실정이다. Yang et al. (2020)은 복숭아씨살이좀벌의 암컷 추출물로부터 수컷에서 촉각 반응을 유도하는 주성분 2me,10me-12-propionate와 부성분 2me,8me-10-propionate가 100:25 비율로 존재한다고 보고하였다. 두 화합물은 메틸기가 붙은 자리에서 손대칭성 광학이성질체가 생기는데, 매실 과수원에서 수행된 야외 생물검정을 통해 주성분은 (2S,10R)-이성질체가 가장 많은 수컷을 유인하는 반면, 부성분은 (2S,8S)-이성질체가 가장 효과적임이 밝혀졌다. 그러나 주성분과 부성분 모두가 합성에 적은 비용이 소요되는 라세미 혼합물로는 수컷을 유인할 수 없어 예찰용 유인제로는 현장에서 활용할 수 없는 실정이다. 한편, 암컷이 생산하는 2가지 천연물질의 입체 배열을 결정하기 위하여 일본 연구진과 공동으로 성페로몬 유도체를 HPLC로 분석한 결과, 야외 생물검정의 예상대로 주성분은 (2S,10R)-이성질체가, 부성분은 (2S,8S)-이성질체가 암컷 추출물에서 가장 풍부한 성분이라는 것이 확인되었다(Ohkubo et al., 2020).

향우 연구 방향

우리나라의 과수해충 중에서 페로몬이 알려진 종은 51종에 이르지만, 실제 농업 현장에서 해충방제에 활용되고 있는 규모는 기대에 미치지 못하고 있다. 친환경 해충방제 업체 관계자에

따르면 최근 우리나라 과수해충의 예찰용 페로몬 트랩과 방제용 교미교란제 시장 규모는 각각 21억 원과 46억 원 정도로 추산되고 있다. 페로몬 트랩은 톱다리개미허리노린재, 갈색날개노린재, 썩덩나무노린재, 등얼룩풍뎠이, 복숭아심식나방, 복숭아유리나방, 사과유리나방, 애기유리나방, 사과굴나방, 담배거세미나방, 복숭아명나방, 복숭아순나방붙이, 복숭아순나방, 사과애모무늬잎말이나방, 사과무늬잎말이나방, 복숭아굴나방 등에 대해 시판되고 있지만, 그중에서 노린재류(톱다리개미허리노린재, 갈색날개노린재, 썩덩나무노린재)와 심식나방류(복숭아심식나방, 복숭아순나방)의 페로몬 트랩이 전체 시장의 96%를 차지하고 있다. 한편, 교미교란제는 가루깍지벌레, 복숭아심식나방, 복숭아유리나방, 사과굴나방, 복숭아순나방붙이, 복숭아순나방 등에 대해 시판되고 있으며 심식나방류(복숭아심식나방, 복숭아순나방) 방제용이 전체의 87%를 점유하고 있어 페로몬 관련 친환경 방제 자재의 다양화가 절실하다.

건강증진과 환경보호에 대한 관심이 높은 상황에서 환경친화적인 농업은 거스를 수 없는 대세이며, 농업해충의 방제를 위해 페로몬을 이용하는 것은 살충제의 사용을 줄여 그에 따른 부작용을 해결할 수 있는 좋은 대안이 될 수 있다. 과수원에서 페로몬 기반의 친환경 해충방제 기술을 확산시키기 위해서는 농업 현장에서 믿고 다시 찾는 경쟁력 있는 페로몬 관련 자재를 생산하는 것이 무엇보다 중요하며 이를 위해서는 향후 다음과 같은 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다. 첫째, 아직 페로몬 성분이 밝혀지지 않았거나 유인력이 미흡한 해충의 페로몬에 관한 추가연구가 필요하다. 현재 우리나라 과수원에서 문제가 되고 있으나 페로몬 정보가 없는 가시노린재, 볼록총채벌레, 대추나무잎혹파리, 연무늬들명나방 등은 물론, 이미 알려진 페로몬 조성의 유인력이 미흡한 알락수염노린재, 풀색노린재, 복숭아명나방, 대추알락명나방 등에 관한 지속적인 연구가 요구된다. 둘째, 카이로몬(kairomone)과 같은 다른 신호화학물질(semiochemicals)의 동정이 필요하다. 성페로몬은 수컷만을 유인할 뿐 암컷을 유인할 수 없다는 치명적인 한계가 있다. 이것은 일반 과수농가에서 성페로몬 트랩이 광범위하게 사용되지 않고 있는 가장 큰 이유이다. 따라서 해충 개체군 증식과 방제 측면에서 더 중요한 암컷을 유인할 수 있는 기주 식물 유래의 카이로몬을 동정하여 성페로몬과 동시에 활용한다면 관련 산업의 규모를 확장하는 데 크게 도움이 될 것이다. 셋째, 성페로몬을 활용한 직접 방제 수단인 교미교란제의 국산화와 고급화가 필요하다. 교미교란제의 핵심 구성요소는 대상 해충의 성페로몬뿐만 아니라 성충이 활동하는 기간에 걸쳐 충분한 양의 성페로몬을 지속적으로 방출할 수 있는 방출 소재이다. 그러나 현재 복숭아순나방 방제용으로 시판되고 있는 일부 교미교란제는 유

효기간이 성충 발생 기간인 6개월에 미치지 못해 만족할 만한 방제효과를 기대하기 어려운 실정이다. 따라서 곤충학자, 화학공학자 및 재료공학자 간의 긴밀한 협력을 통하여 해충별 맞춤형 페로몬 방출기를 개발하는 연구가 필요할 것이다. 넷째, 집합페로몬을 이용한 직접 방제 방법인 대량 포획에 관한 구체적인 사용지침이 마련되어야 한다. 집합페로몬은 수컷 성충이 방출하여 암컷, 수컷 및 약충까지도 유인하므로 수컷만을 유인하는 성페로몬에 비해 방제 측면에서 활용 가치가 더 높을 수 있다. 따라서 집합페로몬을 신호화학물질로 이용하는 노린재류와 하늘소류를 대상으로 트랩의 적정 유형을 선별한 후 트랩의 적정 설치 위치, 단위 면적 당 트랩의 설치 밀도 등에 대한 기준을 마련하고 이를 현장에서 실증하는 노력이 요구된다.

사 사

국내 곤충 페로몬 연구의 초석을 다지시고 후학들에게 무한한 애정과 격려를 보내주신 부경생 교수님께 감사드립니다.

저자 직책 & 역할

양창열: 농촌진흥청 국립원예특작과학원, 농업연구관; 자료 수집 및 정리, 논문작성

저자는 원고를 읽고 투고에 동의하였음.

Literature Cited

- Aldrich, J.R., Numata, H., Borges, M., Bin, F., Waite, G.K., Lusby, W.R., 1993. Artifacts and pheromone blends from *Nezara* spp. and other stink bugs (Heteroptera: Pentatomidae). *Z. Naturforsch. C.* 48, 73-79.
- Ando, T., Ohtani, K., Yamamoto, M., Miyamoto, T., Qin, X.R., Witjaksono, K., 1997. Sex pheromone of Japanese giant looper, *Ascotis selenaria cretacea*: identification and field tests. *J. Chem. Ecol.* 23, 2413-2423.
- Arai, T., Sugie, H., Hiradate, S., Kuwahara, S., Itagaki, N., Nakahata, T., 2003. Identification of a sex pheromone component of *Pseudococcus cryptus*. *J. Chem. Ecol.* 29, 2213-2223.
- Boo, K.S., Jung, C.H., 1998. Field tests of synthetic sex pheromone of the apple leafminer moth, *Phyllonorycter ringoniella*. *J. Chem. Ecol.* 24, 1939-1947.
- Boo, K.S., Choi, M.Y., Chung, I.B., Eastop, V.F., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Woodcock, C.M., 2000. Sex pheromone of the peach aphid, *Tuberocephalus momonis*, and optimal blends for trapping males and females in the field. *J. Chem. Ecol.* 26, 601-609.

- Byun, B.K., Lee, B.W., Lee, E.S., Choi, D.S., Park, Y.M., Yang, C.Y., Lee, S.K., Cho, S., 2012. A review of the genus *Adoxophyes* (Lepidoptera Tortricidae) in Korea, with description of *A. par-orana* sp. nov. *Anim. Cells Syst.* 16, 154-161.
- Cardé, A.M., Baker, T.C., Cardé, R.T., 1979. Identification of a four-component sex pheromone of the female oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Chem. Ecol.* 5, 423-427.
- Cardé, R.T., Minks, A.K., 1995. Control of moth pests by mating disruption: success and constraints. *Ann. Rev. Entomol.* 40, 559-585.
- Choi, K.S., Park, Y.M., Choi, K.H., Kim, D.H., Kim, D.S., 2012. Sex pheromone composition of *Ascotis selenaria* (Lepidoptera: Geometridae) and its regional variation in Korea. *J. Asia Pac. Entomol.* 15, 413-418.
- Cossé, A.A., Cyjon, R., Moore, I., Wysoki, M., Becker, D., 1992. Sex pheromone components of the giant looper, *Boarmia selenaria* Schiff. (Lepidoptera: Geometridae): identification, synthesis, electrophysiological evaluation, and behavioral activity. *J. Chem. Ecol.* 18, 165-181.
- Dawson, G.W., Griffiths, D.C., Merritt, L.A., Mudd, A., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., Woodcock, C.M., 1990. Aphid semiochemicals - a review, and recent advances on the sex pheromone. *J. Chem. Ecol.* 16, 3019-3030.
- El-Sayed, A.M., Suckling, D.M., Wearing, C.H., Byers, J.A., 2006. Potential of mass trapping for long-term pest management and eradication of invasive species. *J. Econ. Entomol.* 99, 1550-1564.
- Fitzpatrick, S.M., Gries, R., Khaskin, G., Peach, D.A.H., Iwanski, J., Gries, G., 2013. Populations of the gall midge *Dasineura oxycoccana* on cranberry and blueberry produce and respond to different sex pheromones. *J. Chem. Ecol.* 39, 37-49.
- Gries, R., Gries, G., King, G.G.S., Maier, C.T., 1997. Sex pheromone components of the apple leafminer, *Lyonetia prunifoliella*. *J. Chem. Ecol.* 23, 1119-1130.
- Gries, R., Khaskin, G., Tan, Z.X., Zhao, B.G., King, G.G.S., Miroshnychenko, A., Lin, G.Q., Rhainds, M., Gries, G., 2006. (1S)-1-ethyl-2-methylpropyl 3,13-dimethylpentadecanoate: major sex pheromone component of Paulownia bagworm, *Clania variegata*. *J. Chem. Ecol.* 32, 1673-1685.
- Guerin, P.M., Arn, H., Buser, H.R., Charmillot, P.J., 1986. Sex pheromone of *Adoxophyes orana*: additional components and variability in ratio of (Z)-9- and (Z)-11-tetradecenyl acetate. *J. Chem. Ecol.* 12, 763-772.
- Guo, G.Z., Liu, H.Q., Lin, G.Q., Wu, C.H., Meng, L.Z., Chen, D.M., 1990. Insect sex pheromone of vine tree borer, *Paranthrene regalis*. *Chin. J. Org. Chem.* 6, 504-506.
- Hamilton, J.G.C., Hall, D.R., Kirk, W.D.J., 2005. Identification of a male-produced aggregation pheromone in the western flower thrips *Frankliniella occidentalis*. *J. Chem. Ecol.* 31, 1369-1379.
- Han, K.S., Jung, J.K., Choi, K.H., Lee, S.W., Boo, K.S., 2000. Sex pheromone composition and male trapping of the peach fruit moth, *Carposina sasakii* (Matsumura) (Lepidoptera: Carposinidae) in Korea. *J. Asia Pac. Entomol.* 3, 83-88.
- Han, K.S., Jung, J.K., Choi, K.H., Lee, S.W., Boo, K.S., 2001. Sex pheromone composition and male trapping of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in Korea. *J. Asia Pac. Entomol.* 4, 31-35.
- Hansen, L., Xu, T., Wickham, J., Chen, Y., Hao, D., Hanks, L.M., Millar, J.G., Teale, S.A., 2015. Identification of a male-produced pheromone component of the citrus longhorned beetle, *Anoplophora chinensis*. *PLoS ONE* 10, e0134358.
- Heath, R.R., McLaughlin, J.R., Tumlinson, J.H., Ashley, T.R., Doolittle, R.E., 1979. Identification of the white peach scale sex pheromone. An illustration of micro techniques. *J. Chem. Ecol.* 5, 941-953.
- Hong, J., Han, K.S., Boo, K.S., 2003. Sex pheromone of *Aphis spiraeicola* (Homoptera: Aphididae): composition and circadian rhythm in release. *J. Asia Pac. Entomol.* 6, 159-165.
- Jung, C.H., Boo, K.S., 1997. Sexual behavior and sex pheromone gland of the apple leafminer, *Phyllonorycter ringoniella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 36, 323-330.
- Jung, C.R., Han, K.S., Jung, J.K., Choi, K.H., Lee, S.W., Boo, K.S., 2001. Composition and activity of the asiatic leafroller, *Archips breviplicanus* (Lepidoptera: Tortricidae) sex pheromone at apple orchards in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 40, 219-226.
- Jung, C.R., Kim, S.H., Kim, Y., 2014. Enhancement of species-specific attraction by addition of a minor component of sex pheromone gland of *Grapholita dimorpha*. *Korean J. Appl. Entomol.* 53, 239-246.
- Jung, J.K., Han, K.S., Choi, K.S., Boo, K.S., 2000. Sex pheromone composition for field-trapping of *Dichrocrocis punctiferalis* (Lepidoptera: Pyralidae) males. *Korean J. Appl. Entomol.* 39, 105-110.
- Kalinova, B., Jiros, P., Zdarek, J., Wen, X., Hoskovec, M., 2006. GC×GC/TOF MS technique - a new tool in identification of insect pheromones: analysis of the persimmon bark borer sex pheromone gland. *Talanta* 69, 542-547.
- Khrimian, A., Zhang, A., Weber, D.C., Ho, H.Y., Aldrich, J.R., Vermillion, K.E., Siegler, M.A., Shirali, S., Guzman, F., Leskey, T.C., 2014. Discovery of the aggregation pheromone of the brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*) through the creation of stereoisomeric libraries of 1-bisabolen-3-ols. *J. Nat. Prod.* 77, 1708-1717.
- Kim, J., Cho, K.S., Yang, C.Y., Park, C.G., 2014. Identification and field evaluation of the female sex pheromone of *Stathmopoda masinissa* in Korea. *Chemoecology* 24, 253-259.
- Kim, J., Lim, E., Roh, H.S., Cho, Y.S., Park, C.G., 2015. A trap baited with multiple pheromones attracts sympatric hemipteran pests of sweet persimmon. *J. Asia Pac. Entomol.* 18, 465-470.
- Kim, J., Roh, G.H., Jang, S.A., Park, C.G., 2017. Seasonal occurrence of *Euzophera batangensis* and attractiveness of its sex pheromone gland components in non-astringent persimmon orchards.

- Korean J. Appl. Entomol. 56, 165-169.
- Kim, Y., 2021. Sensory physiology of sex pheromone and its uses for insect pest management. Korean J. Appl. Entomol. 60, 15-47.
- Konno, Y., Arai, K., Sekiguchi, K., Matsumoto, Y., 1982. (*E*)-10-hexadecenal, a sex pheromone component of the yellow peach moth, *Dichrocrocis punctiferalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae). Appl. Entomol. Zool. 17, 207-217.
- Leal, W.S., 1993. (*Z*)- and (*E*)-tetradec-7-en-2-one, a new type of sex pheromone from the oriental beetle. Naturwissenschaften 80, 86-87.
- Leal, W.S., Higuchi, H., Mizutani, N., Nakamori, H., Kadosawa, T., Ono, M., 1995. Multifunctional communication in *Riptortus clavatus* (Heteroptera: Alydidae): conspecific nymphs and egg parasitoid *Ooecyrtus nezarae* use the same adult attractant pheromone as chemical cue. J. Chem. Ecol. 21, 973-985.
- Leal, W.S., Parra-Pedrazzoli, A.L., Cossé, A.A., Murata, Y., Bento, J.M.S., Vilela, E.F., 2006. Identification, synthesis, and field evaluation of the sex pheromone from the citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella*. J. Chem. Ecol. 32, 155-168.
- Leal, W.S., Zarbin, P.H.G., Wojtasek, H., Kuwahara, S., Hasegawa, M., Ueda, Y., 1997. Medicinal alkaloid as a sex pheromone. Nature 385, 213.
- Lin, G.Q., Guo, G.Z., Wu, Y.W., Wu, B.Q., Liu, L.G., Zhou, W.S., 1984. Study on identification and syntheses of insect pheromone XV. Multiple sex pheromone of *Ancylis sativa*. Chin. Sci. Bull. 29, 1670-1674.
- Ma, R., Han, G., Li, L., 1999. The field trap test of *Ancylis sativa* Liu male moths to synthetic sex pheromone. Sci. Silvae Sin. 35, 126-128.
- Mochizuki, F., Fukumoto, T., Noguchi, H., Sugie, H., Morimoto, T., Ohtani, K., 2002. Resistance to a mating disruptant composed of (*Z*)-11-tetradecenyl acetate in the smaller tea tortrix, *Adoxophyes honmai* (Yasuda) (Lepidoptera: Tortricidae). Appl. Entomol. Zool. 37, 299-304.
- Mori, K., Tashiro, T., Zhao, B., Suckling, D.M., El-Sayed, A.M., 2010. Pheromone synthesis. Part 243: Synthesis and biological evaluation of (3*R*,13*R*,1'*S*)-1'-ethyl-2'-methylpropyl 3,13-dimethylpentadecanoate, the major component of the sex pheromone of Paulownia bagworm, *Clania variegata*, and its stereoisomers. Tetrahedron 66, 2642-2653.
- Murakami, Y., Sugie, H., Fukumoto, T., Mochizuki, F., 2005. Sex pheromone of *Grapholita dimorpha* Komai (Lepidoptera: Tortricidae), and its utilization for monitoring. Appl. Entomol. Zool. 40, 521-527.
- Naka, H., Mochizuki, M., Nakada, K., Do, N.D., Yamauchi, T., Arita, Y., Ando, T., 2010. Female sex pheromone of *Glossospehia romanovi* (Lepidoptera: Sesidae): identification and field attraction. Biosci. Biotechn. Biochem. 74, 1943-1946.
- Naka, H., van Vang, L., Inomata, S., Ando, T., Kimura, T., Honda, H., Tsuchida, K., Sakurai, H., 2003. Sex pheromone of the persimmon fruit moth, *Stathmopoda masinissa*: identification and laboratory bioassay of (4*E*,6*Z*)-4,6-hexadecadien-1-ol derivatives. J. Chem. Ecol. 29, 2447-2459.
- Negishi, T., Uchida, M., Tamaki, Y., Mori, K., Isiwatari, T., Asano, S., Nakagawa, K., 1980. Sex pheromone of the comstock mealybug, *Pseudococcus comstocki* Kuwana: isolation and identification. Appl. Entomol. Zool. 15, 328-333.
- Ohkubo, Y., Akasaka, K., Masuda, Y., Konishi, S., Yang, C.Y., Takikawa, H., Mori, K., 2020. Pheromone synthesis. Part 265: Synthesis and stereochemical composition of two pheromonal compounds of the female Korean apricot wasp, *Eurytoma maslovskii*. Tetrahedron 76, 131410.
- Park, J.H., Han, K.S., Mori, K., Boo, K.S., 2002. Right stereoisomers for sex pheromone components of the apple leafminer, *Lyonetia prunifoliella*, in Korea. J. Chem. Ecol. 28, 2515-2525.
- Roelofs, W.L., Comeau, A., Selle, R., 1969. Sex pheromone of the oriental fruit moth. Nature 224, 723.
- Sakai, T., Nakagawa, Y., Takahashi, J., Iwabuchi, K., Ishii, K., 1984. Isolation and identification of the male sex pheromone of the grape borer *Xylotrechus pyrrhoderus* Bates (Coleoptera: Cerambycidae). Chem. Lett. 13, 263-264.
- Sato, R., Abe, N., Sonnet, P., Sugie, H., Tamaki, Y., 1985. Biological activity of (*R*)- and (*S*)-14-methyl-1-octadecene, as the chiral component of the sex pheromone of the peach leafminer moth, *Lyonetia clerkella* Linné (Lepidoptera: Lyonetiidae). Appl. Entomol. Zool. 20, 411-415.
- Shibasaki, H., Yamamoto, M., Yan, Q., Naka, H., Suzuki, T., Ando, T., 2013. Identification of the sex pheromone secreted by a nettle moth, *Monema flavescens*, using gas chromatography/Fourier transform infrared spectroscopy. J. Chem. Ecol. 39, 350-357.
- Shirasaki, S., Yamada, T., Sato, R., Yaginuma, K., Kumakura, M., Tamaki Y., 1979. Field tests on attractiveness of the synthetic sex pheromone of the peach fruit moth, *Carposina niponensis* Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae). Jap. J. Appl. Entomol. Zool. 23, 240-245.
- Sugie, H., Tamaki, Y., Kawasaki, K., Wakou, M., Oku, T., Hirano, C., Horiike, M., 1986. Sex pheromone of the apple leafminer moth, *Phyllonorycter ringoniella* (Matsumura) (Lepidoptera: Gracillariidae): activity of geometrical isomers of tetradecadienyl acetates. Appl. Entomol. Zool. 21, 578-581.
- Sugie, H., Tamaki, Y., Sato, R., Kumakura, M., 1984. Sex pheromone of the peach leafminer moth, *Lyonetia clerkella* Linné: isolation and identification. Appl. Entomol. Zool. 19, 323-330.
- Sugie, H., Teshiba, M., Narai, Y., Tsutsumi, T., Sawamura, N., Tabata, J., Hiradate, S., 2008. Identification of a sex pheromone component of the Japanese mealybug, *Planococcus kraunhiae* (Kuwana). Appl. Entomol. Zool. 43, 369-375.
- Sugie, H., Yaginuma, K., Tamaki, Y., 1977. Sex pheromone of the Asiatic leafroller, *Archippus breviplicanus* Walsingham (Lepidoptera: Tortricidae): isolation and identification. Appl. Entomol. Zool. 12, 69-74.
- Sugie, H., Yoshida, M., Kawasaki, K., Noguchi, H., Moriya, S.,

- Takagi, K., Fukuda, H., Fujiie, A., Yamanaka, M., Ohira, Y., Tsutsumi, T., Tsuda, K., Fukumoto, K., Yamashita, M., Suzuki, H., 1996. Identification of the aggregation pheromone of the brown-winged green bug, *Plautia stali* Scott (Heteroptera: Pentatomidae). *Appl. Entomol. Zool.* 31, 427-431.
- Symmes, E.J., Dewhurst, S.Y., Birkett, M.A., Campbell, C.A.M., Chamberlain, K., Pickett, J.A., Zalom, F.G., 2012. The sex pheromones of mealy plum (*Hyalopterus pruni*) and leaf-curl plum (*Brachycaudus helichrysi*) aphids: identification and field trapping of male and gynoparous aphids in prune orchards. *J. Chem. Ecol.* 38, 576-583.
- Tabata, J., Minamishima, M., Sugie, H., Fukumoto, T., Mochizuki, F., Yoshiyasu, Y., 2009. Sex pheromone components of the pear fruit moth, *Acrobasis pyrivorella* (Matsumura). *J. Chem. Ecol.* 35, 243-249.
- Tabata, J., Narai, Y., Sawamura, N., Hiradate, S., Sugie, H., 2012. A new class of mealybug pheromones: a hemiterpene ester in the sex pheromone of *Crisicoccus matsumotoi*. *Naturwissenschaften* 99, 567-574.
- Tamaki, Y., Honma, K., Kawasaki, K., 1977. Sex pheromone of the peach fruit moth, *Carposina niponensis* Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae): isolation, identification and synthesis. *Appl. Entomol. Zool.* 12, 60-68.
- Tamaki, Y., Noguchi, H., Yushima, T., 1973. Sex pheromone of *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae): isolation, identification, and synthesis. *Appl. Entomol. Zool.* 8, 200-203.
- Tamaki, Y., Noguchi, H., Sugie, H., Sato, R., Kariya, A., 1979. Minor components of the female sex-attractant pheromone of the smaller tea tortrix moth (Lepidoptera: Tortricidae): isolation and identification. *Appl. Entomol. Zool.* 14, 101-113.
- Tamaki, Y., Noguchi, H., Yushima, T., Hirano, C., 1971a. Two sex pheromones of the smaller tea tortrix: isolation, identification, and synthesis. *Appl. Entomol. Zool.* 6, 139-141.
- Tamaki, Y., Noguchi, H., Yushima, T., Hirano, C., Honma, K., Sugawara, H., 1971b. Sex pheromone of the summerfruit tortrix: isolation and identification. *Kontyu* 39, 338-340.
- Ujiye, T., Wakou, M., Oku, T., Homma, K., Kawasaki, K., Tamaki, Y., Sugie, H., 1986. Sex pheromone of the apple leafminer moth (*Phyllonorycter ringoniella*): isolation and identification of the pheromone. *Jap. J. Appl. Entomol. Zool.* 30, 268-271.
- Virant-Doberlet, M., Cokl, A., 2004. Vibrational communication in insects. *Neotrop. Entomol.* 33, 121-134.
- Wen, X.J., Kalinova, B., Liu, M.G., Hoskovec, M., 2009. Candidate sex pheromone components of persimmon bark borer, *Euzophera batangensis*. *Sci. Silvae Sin.* 45, 83-89.
- Witzgall, P., Kirsch, P., Cork, A., 2010. Sex pheromones and their impact on pest management. *J. Chem. Ecol.* 36, 80-100.
- Xu, T., Yasui, H., Teale, S.A., Fujiwara-Tsuji, N., Wickham, J.D., Fukaya, M., Hansen, L., Kiriya, S., Hao, D., Nakano, A., Zhang, L., Watanabe, T., Tokoro, M., Millar, J.G., 2017. Identification of a male-produced sex-aggregation pheromone for a highly invasive cerambycid beetle, *Aromia bungii*. *Sci. Rep.* 7, 7330-7337.
- Yang, C.Y., Cho, M.R., Choi, D.R., 2011a. Identification and field evaluation of the sex pheromone components of a Korean population of *Glossospehia romanovi*. *Entomol. Exp. Appl.* 138, 244-248.
- Yang, C.Y., Choi, K.S., Cho, M.R., 2013. (E)-5-hexadecenyl acetate: a novel moth sex pheromone component from *Stathmopoda auriferella*. *J. Chem. Ecol.* 39, 555-558.
- Yang, C.Y., Han, K.S., Boo, K.S., 2009a. Sex pheromones and reproductive isolation of three species in genus *Adoxophyes*. *J. Chem. Ecol.* 35, 342-348.
- Yang, C.Y., Jung, J.K., Han, K.S., Boo, K.S., Yi, M.S., 2002. Sex pheromone composition and monitoring of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) in Naju per orchards. *J. Asia Pac. Entomol.* 5, 201-207.
- Yang, C.Y., Kim, J., Ahn, S.J., Kim, D.H., Cho, M.R., 2014. Identification of the female-produced sex pheromone of the plant bug *Apolygus spinolae*. *J. Chem. Ecol.* 40, 244-249.
- Yang, C.Y., Kim, J., Lee, S.G., 2011b. Identification and field evaluation of the sex pheromone of *Synanthedon bicingulata* (Staudinger). *J. Chem. Ecol.* 37, 398-402.
- Yang, C.Y., Kim, J., Kang, T.J., Jeon, H.Y., 2009b. Identification and field bioassays of the sex pheromone of *Synanthedon Haitangvora*. *J. Chem. Ecol.* 35, 1197-1201.
- Yang, C.Y., Lee, H.S., Park, C.G., 2012. Sex pheromone of the smaller clearwing moth *Synanthedon tenuis* (Butler). *J. Chem. Ecol.* 38, 1159-1162.
- Yang, C.Y., Mori, K., Kim, J., Kwon, K.B., 2020. Identification and field bioassays of the sex pheromone of *Eurytoma maslovskii* (Hymenoptera: Eurytomidae). *Sci. Rep.* 10, 10281.
- Yang, C.Y., Seo, M.H., Lee, S.C., 2019. Male-produced aggregation pheromone of the sloe bug, *Dolycoris baccarum* L. (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae). *J. Chem. Ecol.* 45, 818-822.
- Yasuda, X., Mizutani, N., Endo, N., Fukuda, T., Matsuyama, T., Ito, K., Moriya, S., Sasaki, R., 2007. A new component of attractive aggregation pheromone in the bean bug, *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae). *Appl. Entomol. Zool.* 42, 1-7.
- Yasui, H., Fujiwara-Tsuji, N., Yasuda, T., Fukaya, M., Kiriya, S., Nakano, A., Watanabe, T., Mori, K., 2019. Electroantennographic responses and field attraction of an emerging invader, the red-necked longicorn beetle *Aromia bungii* (Coleoptera: Cerambycidae), to the chiral and racemic forms of its male-produced aggregation-sex pheromone. *Appl. Entomol. Zool.* 54, 109-114.
- Zhang, P.J., Zhu X.Y., Lu, Y.B., 2011. Behavioural and chemical evidence of a male-produced aggregation pheromone in the flower thrips *Frankliniella intonsa*. *Physiol. Entomol.* 36, 317-320.
- Zhu, X.Y., Zhang, P.J., Lu, Y.B., 2012. Isolation and identification of the aggregation pheromone released by male adults of *Frankliniella intonsa* (Thysanoptera: Thripidae). *Acta Entomol. Sin.* 55, 376-385.