

목화진딧물 감염 식물 및 칠성풀잠자리 유래-휘발성물질들에 대한 칠성풀잠자리의 행동 반응

조점래^{1*} · 이민호² · 박창규¹ · 김정현¹ · Tony Hooper³ · Christine Woodcock³ · John Pickett³

¹농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과, ²농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과, ³영국 로담스테드연구소 생물화학부

Behavioral Response of the Lacewing *Chrysopa cognata* to both *Aphis gossypii*-induced Plant Volatiles and *Chrysopa cognata*-derived Volatiles

Jum Rae Cho^{1*}, Min Ho Lee², Chang Gyu Park¹, Jeong Hwan Kim¹, Tony Hooper³, Christine Woodcock³ and John Pickett³

¹Crop Protection Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Republic of Korea

²Organic Agriculture Division, National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Republic of Korea

³Biological Chemistry, Rothamsted Research, Harpenden, Herts, AL52JQ, UK

ABSTRACT: This study was performed to investigate the response of the lacewing *Chrysopa cognata* to both *Aphis gossypii*-induced plant volatiles and lacewing-derived volatiles. The results of a Y-tube olfactometer bioassay showed that more *C. cognata* males were attracted to green pepper plants infected with *A. gossypii* than to uninfected green pepper plants alone or clean air and *C. cognata* males were attractive to *C. cognata* females. Gas chromatography-electroantennographic detection (GC-EAD) analysis showed that the antennae of *C. cognata* females elicited EAD-active responses to the volatiles entrained from *A. gossypii*-infected green pepper plants. 4-Ethylacetophenone, 3-ethylbenzaldehyde, 3-ethylacetophenone, and 4-ethylbenzaldehyde from *A. gossypii*-induced green pepper volatiles, and (Z,Z)-4,7-tridecadiene, (Z)-4-tridecene, and (Z)-4-undecene from *C. cognata* female entrainment were elucidated by further analysis using GC coupled nuclear magnetic resonance spectroscopy. Of the *A. gossypii*-induced plant volatiles identified in this study, 4-ethylacetophenone and 3-ethylbenzaldehyde significantly increased the attraction of *C. cognata* males to nepetalactol, but (Z)-4-tridecene and (Z)-4-undecene did not. (Z,Z)-4,7-Tridecadiene significantly reduced the attractiveness of nepetalactol to *C. cognata*.

Key words: *Chrysopa cognata*, *Aphis gossypii*, Plant volatiles, Nepetalactol, (Z)-4-undecene, (Z)-4-tridecene, (Z,Z)-4,7-tridecadiene

초 록: 본 연구에서는 목화진딧물(*Aphis gossypii*)을 접종한 착색단고추(*Capsicum annum* L.)에서 방출된 휘발성물질 및 칠성풀잠자리(*Chrysopa cognata*) 암컷이 분비한 휘발성물질에 대한 칠성풀잠자리 수컷의 반응이 조사되었다. Y-tube olfactometer에서 칠성풀잠자리 수컷 성충은 목화진딧물이 감염되어 있는 착색단고추에 더 많이 이끌렸고, 수 개의 뚜렷한 GC-EAD 반응을 보였다. 이들 GC-EAD 반응을 보인 피크에 대해 GC-MS 및 GC coupled NMR spectroscopy로 분석한 결과, 목화진딧물이 감염된 착색단고추로부터 4-ethylacetophenone, 3-ethylbenzaldehyde, 3-ethylacetophenone 및 4-ethylbenzaldehyde 그리고 칠성풀잠자리 암컷 성충으로부터 (Z,Z)-4,7-tridecadiene, (Z)-4-tridecene 및 (Z)-4-undecene 등이 동정되었다. 야외 포장시험에서 이들 물질 단독으로는 칠성풀잠자리에 대해 유인효과가 없었다. 암컷 성충에서 기원한 (Z)-4-tridecene와 (Z)-4-undecene은 칠성풀잠자리를 유인하지 못하였고, (Z,Z)-4,7-tridecadiene은 nepetalactol의 유인성을 감소시켰다. 하지만 3-ethylbenzaldehyde와 4-ethylacetophenone는 nepetalactol과 함께 혼합하면 칠성풀잠자리에 대한 유인성은 현저하게 증가하였다.

검색어: 칠성풀잠자리, 목화진딧물, nepetalactol, 3-ethylbenzaldehyde, 4-ethylacetophenone, (Z,Z)-4,7-tridecadiene

*Corresponding author: jrcho82@korea.kr

Received April 29 2013; Revised September 2 2013

Accepted September 11 2013

식물은 초식동물이나 병원균의 공격으로부터 자신을 보호하기 위해 직·간접적으로 다양한 방어 전략을 발전시킨다 (Mattiacci et al., 2001; Hartmann 2004). 초식동물이 유도한 식물유래 휘발성물질은 포식성 및 기생성 천적이 기주나 먹이를

찾는 행동에 중요한 역할을 한다(Dicke, 1999; Turlings and Wäckers, 2004). 식물유래 휘발성물질 방출 정도는 초식동물의 종, 나이, 환경조건 등에 따라 다르다(Gouinguéné and Turlings, 2002; Gouinguéné et al., 2003). 초식동물이 유도한 식물유래 휘발성물질은 식물이 초식동물에 의해 공격을 받았을 때 많은 양이 방출되기 때문에 먹이를 찾고 있는 천적들에게 쉽게 탐지된다(Dicke, 1999).

풀잠자리류는 주요 해충을 포식하는 중요한 천적종의 하나로(New, 1988) 식물-해충-천적의 체계에서 기주식물이 분비한 휘발성물질(Zhu et al., 2005), 초식동물이 유도한 식물휘발성물질(James, 2003; James and Price, 2004) 및 진딧물 성페로몬(Boo et al., 1998; Hooper et al., 2002) 등을 포함한 다양한 통신물질들(semiochemicals)에 이끌리고, 특히 일부 풀잠자리는 개박하(*Nepeta cataria* L.)에서 발견된 nepetalactone과 nepetalactol에 잘 이끌린다(McElvain et al., 1941).

풀잠자리류 중 가장 흔한 칠성풀잠자리(*Chrysopa cognata* Wesmael)는 진딧물을 선호하는 경향을 갖고 있는 특성으로 인해 생물적 방제인자로서 포식성 천적류인 풀잠자리를 화학농약 대신 사용하는 것이 친환경적인 방제 수단이 되고 있다. 그러나 대량 사육에서 방사하기까지 많은 요인들을 고려해야 하는 어려움이 있고, 포식성 천적을 이용하여 성공하기 위해서는 해충의 밀도가 증가하기 전에 천적 밀도를 유지하거나 낮은 해충의 밀도에서도 천적의 밀도를 유지해야 하는 어려움이 있다. 이러한 어려운 현실을 극복하기 위한 대안적 수단으로 외부로부터 포장 안으로 천적을 유인하는 것도 시도해 볼 수 있는 효과적인 방제전략이 될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 풀잠자리를 유인할 수 있는 휘발성물질을 개발하기 위한 기초단계로 목화진딧물(*A. gossypii*)을 접종한 착색단고추(*C. annuum* L.)에서 방출된 휘발성물질 및 칠성풀잠자리(*C. cognata*) 암컷이 분비한 휘발성물질에 대한 칠성풀잠자리 수컷의 반응을 조사하였다.

재료 및 방법

시험곤충 및 화합물

칠성풀잠자리(*C. cognata*) 유충 및 성충을 경기도 수원 소재 서울대학교 수목원에서 채집하여 사육실(온도 25±1°C, 상대습도 60±10% 및 광주기 16L: 8D)로 가져와 각각 사육상자(30 × 30 × 30 cm)에 넣어 두고 오이(*Cucumis sativus* L.) 유묘에 붙어 있는 목화진딧물(*Aphis gossypii* Glover)을 먹이로 공급하였다. 본 연구에 사용된 화합물은 로담스테드 연구소(Rothamsted

Research, UK)로부터 공급 받아 사용하였다. 3-ethylacetophenone, 4-ethylacetophenone, 3-ethylbenzaldehyde, 4-ethylbenzaldehyde는 착색단고추에 목화진딧물을 접종한 후 48시간 동안 포집, (Z,Z)-4,7-tridecadiene, (Z)-4-tridecene, (Z)-4-undecene은 우화 후 2일된 칠성풀잠자리로부터 48시간 동안 포집하여 확인·동정된 물질이다.

유인행동검정

유인행동은 glass Y-tube olfactometer(stem 3.5 × 20 cm, arm 3.5 × 20 cm)를 이용하여 검정하였다. 각 arm에 냄새를 보낼 수 있는 유리통(직경 13 cm × 높이 21 cm)이 연결되어 있고, 각 arm으로 정제한 공기(400 ml/min)를 넣어 주었다. 빛에 의한 시각적 방해 배제하기 위해 Y-tube olfactometer의 arm을 쿠칭 호일로 덮어 주었고, 또한 Y-tube olfactometer의 방향에 따른 오류를 배제하기 위해 180°방향을 바꿔 가면서 유인행동을 검정하였다.

처리구는 목화진딧물만 있는 것, 착색단고추(*C. annuum* L.)만 있는 것, 착색단고추에 목화진딧물 100마리 이상을 접종한 것으로 구분하였고, 대조구는 정제한 공기만 공급해 주었다. 칠성풀잠자리 암컷에 대한 칠성풀잠자리 수컷의 반응을 조사하기 위해서 처리구에는 칠성풀잠자리 암컷 10마리를 넣고, 무처리구를 대조로 하여 유인행동을 검정하였다. 칠성풀잠자리 성충을 Y-tube olfactometer 주 arm의 5 cm 이내에 놓고, 10분 동안에 Y자로 나누어지는 지점에서부터 12 cm 이상 이동한 것을 반응한 것으로 간주하고 계수하였고, 어느 쪽도 움직임이 없는 것은 무반응으로 처리하였다. 모든 유인행동 검정시험은 낮 기간에 수행되었다.

휘발성물질 포집

목화진딧물을 접종한 착색단고추로부터 방출되는 식물휘발성물질을 포집하기 위해 목화진딧물 약충과 성충을 100마리 이상을 착색단고추에 접종하고 포집기(Porapak-Q)로 48시간 동안 포집하였다. 착색단고추만으로부터 방출되는 식물휘발성물질 포집도 동일한 포집기를 이용하여 48시간 동안 포집하였다. 포집은 closed push/pull system을 이용하여 glass dome 챔버(높이 15 cm × 직경 16 cm)에 목화진딧물을 접종한 착색단고추를 넣은 후 charcoal 필터를 통해 정제한 공기를 넣어 주고(3 L/min), 포집기(Porapak-Q)를 통해 분당 0.8 L 압력으로 공기를 빼 내면서 포집하였다. 포집기는 사용하기 전에 질소 가스를 유입시키면서 150°C에서 12시간 가열하여 불순물이 없도

록 준비하였다. 칠성풀잡자리로부터 휘발성물질을 포집하기 위해 glass dome 챔버(높이 15 cm × 직경 16 cm)에 암수(우화 후 2일된 성충) 10마리를 각각 다른 챔버에 넣어 두고 포집기를 이용하여 칠성풀잡자리로부터 분비되는 휘발성물질을 48시간 동안 포집하였다. 포집된 포집기는 750 µl의 distilled diethyl ether로 추출하고 시험에 사용할 때까지 -20°C에 저장하였다.

GC-EAD 분석

목화진딧물 감염 식물성휘발물질 및 칠성풀잡자리 유래 휘발성물질에 대한 칠성풀잡자리의 반응을 가스크로마토그래피가 부착된 촉각전도측정장치(gas chromatography-electroantennographic detection, GC-EAD)를 이용하여 분석하였다. 가스크로마토그래피(HP 6890)에는 FID 검출기와 DB-WAXetr column(30 m × 0.25 mm i.d. × 0.25 µm film thickness, J&W Scientific, Folsom, CA, USA)이 장착되어 있으며, 헬륨을 운반가스로 사용하였다. splitless 모드에서 1 µl의 시료를 주입하였다. GC 오븐 온도는 시료 주입 후 50°C에서 2분간 유지하다 분당 10°C씩 증가시켜, 최종 240°C까지 승온 후 10분간 유지하였다. 컬럼으로 들어와 분석된 시료는 Y-connector(Quartz splitter, Agilent Technologies, Part no. 5181-3397)에 의해 1:1로 나뉘어 한쪽은 FID, 다른 한쪽은 EAD로 흘러간다. EAD 쪽에는 칠성풀잡자리 안테나의 습도를 유지해 주기 위해 0.5 m/sec 속도로 습한 공기를 흘러 보내 주었다. EAD는 data acquisition interface(Serial IDAC-232)가 부착되어 있는 개인용 컴퓨터의 Syntech EAG 2000 program(Hilversum, The Netherlands)으로 측정하였다.

GC/GC-MS 분석

포집된 시료는 FID 검출기를 부착한 Agilent 6890 GC에 극성(DB-wax, 30 m × 0.32 mm i.d. × 0.5 µm film thickness)과 HP5890 GC에 비극성 칼럼(HP-1, 50 m × 0.32 mm i.d. × 0.5 µm film thickness)으로 각각 분석하였다. GC 오븐 온도는 시료 주입 후 1분간 40°C를 유지하기 시작하여 분당 5°C씩 150°C까지 증가시켰고, 이후 분당 10°C씩 최종 250°C까지 승온시켰으며, 수소를 운반가스로 사용하였다. 표준화합물과 비교하여 ChemStation software(Agilent Technologies, Wilmington, DE, USA)로 시료를 정량하였다.

GC-MS 분석은 HP 5873N mass selective detector가 부착된 6890 GC-MS를 이용하여 칼럼은 HP-1MS(30 m × 0.25 mm i.d. × 0.25 µm film thickness)를 사용하였다. 최초 0.5분 동안 35°C로 유지하여 분당 12°C씩 증가시켜 최종 180°C까지 도달시켰

다. 표준화합물의 머무름 시간 지수 및 질량 스펙트럼을 시료와 상호 비교하여 동정하였다.

야외포장 생물검정

칠성풀잡자리 유인효과시험은 2005년부터 2006년까지 서울대학교 수목원에서 수행하였다. 화학물질 방출기로 흰색 고무(septa, cat. # Z10,072-2, Aldrich Chemical Co. Ltd.), 포획장치는 윈트랩(Green Agrotech Co.)을 사용하였다. 트랩은 5 m 간격으로 지상에서 1.5 m 높이에 설치하였으며, 매주 윈트랩의 끈끈이를 교체하면서 유인된 칠성풀잡자리 수를 조사하였다.

착색단고추에 목화진딧물을 접종하고 48시간 동안 포집하여 GC-EAD에서 확인된 피크로부터 동정된 3-ethylacetophenone (3APO), 4-ethylacetophenone(4APO), 3-ethylbenzaldehyde (3EBL) 및 4-ethylbenzaldehyde(4EBL)를 100 µl 헥산에 0.01, 0.1, 1 및 5 mg씩 녹여 조제한 방출기의 효과를 2006년 8월 28일부터 9월 18일까지 조사하였다. 아울러 3EBL과 4EBL, 3APO와 4APO를 각 2 : 1의 비율로 전체 5 mg이 되도록 조제하여 유인효과를 조사하였다. 이때 대조구로 100 µl 헥산에 nepetalactol 0.1 mg을 녹여 조제한 루어를 사용하였다.

100 µl 헥산에 5 mg의 3APO, 4APO, 3EBL 및 4EBL을 녹여 조제한 루어, 3EBL과 4EBL, 3APO와 4APO를 각 2 : 1의 비율로 전체 5 mg이 되도록 조제한 루어와 1 mg의 nepetalactol을 녹여 조제한 루어를 윈트랩에 동시에 매달아 놓고 2006년 9월 13일부터 10월 2일까지 칠성풀잡자리 유인효과를 조사하였다.

2일된 칠성풀잡자리 암컷 성충에서 포집하여 동정한 (Z)-4-tridecene, (Z)-4-undecene, (Z,Z)-4,7-tridecadiene의 유인효과를 조사하였다. Z-4-tridecene 및 Z-4-undecene을 0.1, 1 및 10 mg을 100 µl 헥산에 녹여 조제한 루어의 효과를 서울대학교 수목원에서 2005년 8월 10일부터 9월 6일까지 조사하였다. (Z,Z)-4,7-tridecadiene은 0.0001, 0.001, 0.01, 0.1, 1 및 5 mg을 녹여 조제한 루어의 효과와 여기에 nepetalactone을 0.1 및 1 mg을 녹여 조제한 루어, 그리고 nepetalactol 0.1 mg을 녹여 조제한 루어를 동시에 매달아 놓고 유인효과를 조사하였다.

통계분석

유인행동 검정에서 칠성풀잡자리의 행동적 반응 차이는 χ^2 -검정으로 분석하였고, 야외포장에서 트랩 포획수의 통계적 유의성은 LSD 검정($P < 0.05$)으로 분석하였다.

Comparison		NR*	χ^2	P-value
Clean air	Aphids only	23	1.7	<0.19
Clean air	Green pepper plant only	3	75.0	<0.0001
Clean air	Green pepper plant with aphids	1	42.9	<0.0001
Green pepper plant	Green pepper plant with aphids	5	75.0	<0.0001

100 80 60 40 20 0 20 40 60 80 100
% response

Fig. 1. Olfactory responses of the lacewing *Chrysopa cognata* to the green pepper plant alone vs. aphid-infected green pepper plants in a Y-tube olfactometer. NR means the number of non-responding insects that did not reach the end of either olfactometer arm within 10 min. NR was excluded from the statistical analysis. The *P*-value indicates significant difference between members of a pair (χ^2 test).

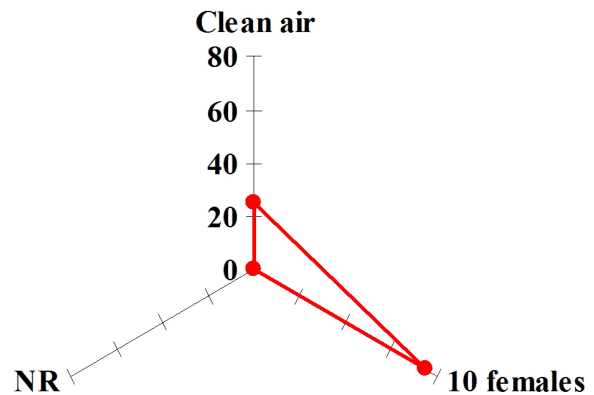


Fig. 2. Olfactory response of *Chrysopa cognata* males to females in a Y-tube olfactometer. NR means the number of non-responding insects that did not reach the end of either olfactometer arm within 10 min. NR was excluded from the statistical analysis ($\chi^2 = 17.1$, *df* = 1, *P* < 0.0001, χ^2 test).

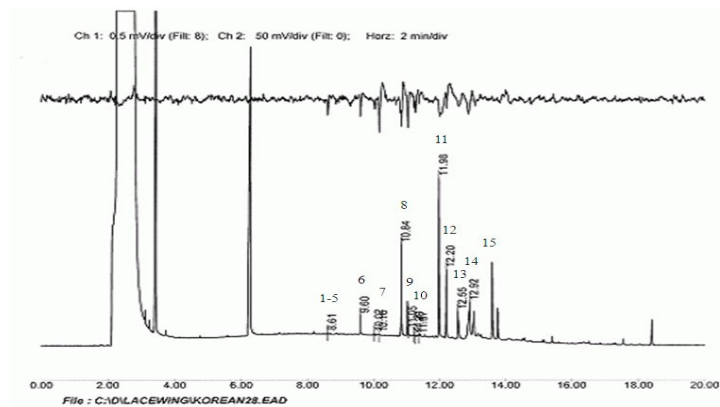


Fig. 3. GC coupled electroantennogram of a female *Chrysopa cognata* against air-entrainment of *Aphis gossypii* on a *Capsicum annuum* leaf for 48 h. 1: benzaldehyde, 2: phenol, 3: hexanoic acid, 4: 6-methyl-5-hepten-2-one, 5: 2-octanone, 6: acetophenone, 7: *p*-ethylvinylbenzene, 8: 3-ethylbenzaldehyde (KI = 1133), 9: 4-ethylbenzaldehyde (KI = 1149), 10: cinnamaldehyde, 11: 3-ethylacetophenone (KI = 1233), 12: 4-ethylacetophenone (KI = 1252), 13: unknown acetophenone, 14: 3-ethylbenzoic acid, 15: 4-ethylbenzoic acid.

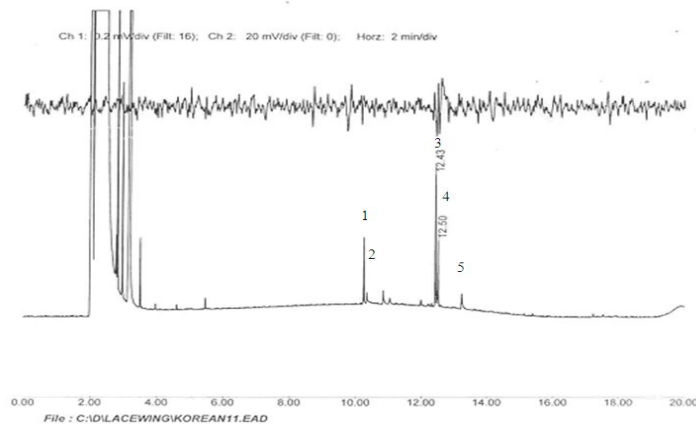


Fig. 4. GC coupled electroantennogram of a male *Chrysopa cognata* against air-entrainment of a 2-day-old female *C. cognata* for 48 h. 1: (Z)-4-undecene, 2: undecane, 3: (Z,Z)-4,7-tridecadiene, 4: (Z)-4-tridecene, 5: skatole.

결과 및 고찰

유인행동검정

목화진딧물 단독, 착색단고추 단독, 착색단고추에 목화진딧물을 접종한 각각에 대한 칠성풀잡자리의 선택 행동시험을 수행한 결과(Fig. 1), 칠성풀잡자리 성충은 목화진딧물에 대한 뚜렷한 선호성을 보이지 않은 반면 착색단고추에 대해 강한 선호도($\chi^2 = 75.0, df = 1, P < 0.0001$)를 보였고, 착색단고추에 목화진딧물을 접종한 것에 대해서도 강한 선호도($\chi^2 = 42.9, df = 1, P < 0.0001$)를 보였다. 또한 칠성풀잡자리는 착색단고추에 비해 착색단고추에 목화진딧물을 접종한 시험구에 상대적으로 더 강한 선호도를 보였다($\chi^2 = 75.0, df = 1, P < 0.0001$). 이러한 결과는 무당벌레(*Harmonia axyridis* Pallas)가 진딧물이 감염되지 않은 잎에서 방출되는 냄새보다 진딧물이 감염된 잎에서 방출된 냄새에 더 강하게 유인되었다는 보고와 일치되는 결과이다(Obata, 1986). 그러나 Obata(1986)는 무당벌레의 이끌림

현상이 진딧물 때문인지 진딧물의 가해에 의해 유도된 식물이 반응한 결과 때문인지는 정확하게 결론을 내리기 힘들다고 하였다. 칠성풀잡자리 수컷 성충은 암컷 성충에 대해서도 유의성 있는 이끌림 현상을 보였다(Fig. 2, $\chi^2 = 17.1, df = 1, P < 0.0001$). 본 연구에서 착색단고추에 목화진딧물을 접종한 것으로부터 방출된 냄새 및 칠성풀잡자리 암컷으로부터 방출된 냄새에 대해 칠성풀잡자리가 강한 선호성을 보이는 것으로 보아 칠성풀잡자리를 유인할 수 있는 특정 휘발성물질이 있을 것으로 추정되었다.

GC-EAD/GC-MS 분석

목화진딧물을 착색단고추에 접종한 후 48시간 포집한 것에 대한 칠성풀잡자리 암컷 성충의 GC-EAD 반응에서 일치된 주요 피크는 영국 로담스테드 연구소에서 개발한 GC-coupled NMR spectroscopy 방법에 의해 15종의 휘발성물질(Fig. 3), 우화 후 2일된 칠성풀잡자리 암컷 성충을 48시간 포집한 것에 대해 칠성풀잡자리 수컷 성충의 GC-EAD 반응을 보인 피크로 5종의 휘발성물질이 동정되었다(Fig. 4). 한편 칠성풀잡자리 수컷 성충을 48시간 포집하여 칠성풀잡자리 암컷에 대해서 GC-EAD 반응을 조사하였으나 뚜렷하게 일치된 피크를 확인하기 어려웠다.

야외포장 생물검정

위에서 동정된 4-ethylacetophenone, 3-ethylbenzaldehyde, 3-ethylacetophenone 및 4-ethylbenzaldehyde에 대한 칠성풀잡자리의 행동반응을 검정한 결과(Table 1), GC-EAD 반응을 보인 것과는 다르게 뚜렷한 유인효과를 확인하지 못하였다. Acetophenone은 *Dendroctonus pseudotsugae* 암컷(Conn et al., 1983) 및 *Taphrorychus bicolor* 수컷(Kohnle et al., 1987)으로부터 동정된 휘발성물질로 *D. pseudotsugae* 암컷의 유인을 억제하고, *T. bicolor*의 aggregation을 자극한다. Sullivan(2005)은 acetophenone이 *Dendroctonus frontalis* 수컷의 유인을 현저하게 감소시켰다고 보고한바 있다. 그러나 본 연구에서 acetophenone 종류인 4-ethylacetophenone 및 3-ethylbenzaldehyde 단독으로는 칠성풀잡자리를 유인하지 못하였지만, nepatalactol의 유인력을 증가시켰다(Fig. 5).

GC-EAD 분석에서 안테나 반응을 보인 (Z)-4-tridecene 및 (Z)-4-undecene은 야외 포장에서는 칠성풀잡자리를 유인하는 효과를 보여 주지 못하였다(Table 2). Wadhams(1990)는 black bean aphid(*Aphis fabae*)의 single cell recording 결과, (E2)-

Table 1. Mean number of *Chrysopa cognata* caught in wing traps baited with different amounts of each compound

Compound	Amount (mg)	Trap catches (mean±SD)
3-ethylacetophenone (3APO)	0.01	0.0 b
	0.10	0.3±0.6 b
	1.00	0.0 b
	5.00	0.0 b
4-ethylacetophenone (4APO)	0.01	0.0 b
	0.10	0.7±1.1 b
	1.00	0.0 b
	5.00	0.0 b
3-ethylbenzaldehyde (3EBL)	0.01	0.0 b
	0.10	0.0 b
	1.00	0.0 b
	5.00	0.0 b
4-ethylbenzaldehyde (4EBL)	0.01	0.0 b
	0.10	0.0 b
	1.00	0.3±0.6 b
	5.00	0.3±0.6 b
3EBL(2) + 4EBL(1)	5.00	0.0 b
3APO(2) + 4APO(1)	5.00	0.0 b
Nepetalactol	0.10	10.7±0.6 a

* Numbers followed by the same letter within the same column are not significantly different (LSD test, $P < 0.05$). Data were collected from Aug 28 to Sept 18, 2006.

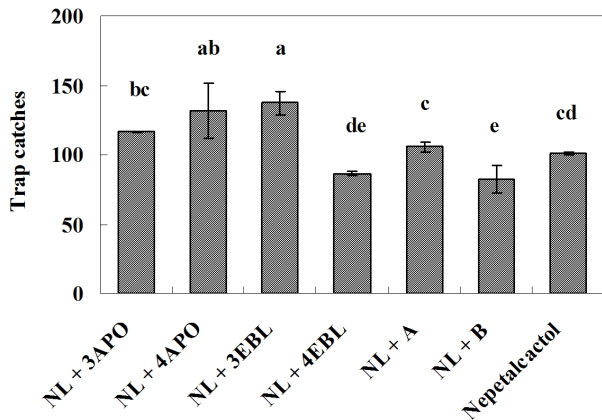


Fig. 5. Mean number of *Chrysopa cognata* caught in wing traps baited with seven different compounds; 3APO: 3-ethylacetophenone, 4APO: 4-ethylacetophenone, 3EBL: 3-ethylbenzaldehyde, 4EBL: 4-ethylbenzaldehyde, A: 3-ethylbenzaldehyde (2) + 4-ethylbenzaldehyde (1), B: 3-ethylacetophenone (2) + 4-ethylacetophenone (1), NL: nepetalactol. Means with the same letter are not significantly different (LSD test, $P < 0.05$). Data were collected from Sept 13 to Oct 2, 2006.

Table 2. Mean number of *Chrysopa cognata* caught in wing traps baited with three different amounts of each compound

Compound	Amount (mg)	Trap catches (mean±SD)
Z-4-tridecene	10.0	0.0 d
	1.0	0.0 d
	0.1	0.6±0.5 d
Z-4-undecene	10.0	0.0 d
	1.0	0.0 d
	0.1	0.0 d
Nepetalactol	10.0	345.6±20.1 a
	1.0	152.6±16.2 b
	0.1	26.6±5.2 c

* Numbers followed by the same letter within the same column are not significantly different (LSD test, $P < 0.05$). Data were collected from Aug 10 to Sept 6, 2005.

hexanal 성분을 포함하고 있지만 행동반응을 측정했을 때 활성을 갖지 못하였다고 보고하였다. 체체파리(*Glossina morsitans*)의 EAG-active compound 중에 일부 성분(1-octen-3-ol, 4-methylphenol 및 3-propylphenol)은 유인물질로 작용하지만, 일부 성분(acetophenone, 2-methoxyphenol)은 기피물질로 작용하고, 그리고 일부 성분(2,6,10,10-tetramethyl-1-oxaspiro[4.5]dec-2-en-8-one)은 행동적 활성을 전혀 보이지 않는 경우도 있다(Gough et al., 1987; Bursell et al., 1988; Kappmeier and Nevill, 1999). 전기생리학적으로 활성이 있는 화합물이 항상 행동학적인 활성을 나타낸다고 할 수 없듯이(Bjostad, 1998),

Y-tube olfactometer를 통해 유인성이 확인되었고, GC-EAD 분석에서 안테나 반응을 보였다고 해서 야외에서 반드시 유인 효과는 나타내는 것은 아님을 알 수 있었다. 따라서 실내와 야외에서 불일치되는 결과는 예를 들어 single sensillum 수준에서 반응성, 야외포장에서 여러 가지 외적 요인들에 대한 연구 등 앞으로 추가적으로 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각된다.

(Z,Z)-4,7-tridecadiene 단독으로도 칠성풀잠자리에 대한 유인효과를 보여주지 못했을 뿐만 아니라 nepetalactol의 유인효과를 현저하게 감소시켰다(Table 3). Zhu et al.(2000)은 *Chrysoperla carnea* 암수의 추출물과 *Peyerimhoffina gracilis* 수컷의 포집물에 (Z,Z)-4,7-tridecadiene이 보조 성분으로, (Z)-4-tridecene이 주 성분으로 포함되어 있다고 보고하였다. 특히, (Z)-4-tridecene은 *Chrysoperla rufilabris*(Zhang et al., 2004)와 *Chrysoperla carnea*(Zhu et al., 2000)의 흥부 추출물로서 암수 모두의 안테나를 자극하는 화합물로도 알려져 있다. *P. gracilis*는 실내검정에서 (Z)-4-tridecene에 대해 안테나 반응을 보였으나, 야외 포장에서는 수컷 *P. gracilis*에 대해 neomatatabiol의 유인력을 현저하게 감소시켰다. 이러한 결과로 볼 때 유인물질에 대한 (Z,Z)-4,7-tridecadiene의 억제 효과는 풀잠자리과(Chrysopidae)에서 나타나는 특징적인 현상으로 보여 진다.

이상의 실내외 시험결과들을 바탕으로 3-ethylbenzaldehyde와 4-ethylacetophenone는 nepetalactol과 혼합사용을 통해 칠성풀잠자리를 유인하는데 유용하게 이용될 수 있을 것으로 본다.

사사

본 연구는 농촌진흥청 어젠다 시험연구과제(과제번호 PJ002626-작물과 곤충의 상호작용 연구)를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다.

Literature Cited

- Boo, K.S., Chung, I.B., Han, K.S., Pickett, J.A., Wadhams, L.J., 1998. Response of the lacewing *Chrysopa cognata* to pheromones of its aphid prey. *J. Chem. Ecol.* 24, 631-643.
- Bjostad, L.B., 1998. Electrophysiological methods. in: Millar, J.G., Haynes, K.F. (Eds.), *Methods in chemical ecology: chemical methods*. Vol. 1. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 339-375.
- Bursell, E., Gough, A.J.E., Beevor, P.S., Cork, A., Hall, D.R., Vale, G.A., 1988. Identification of components of cattle urine attractive to tsetse flies, *Glossina* spp. (Diptera: Glossinidae). *Bull. Ent. Res.* 78, 281-291.

- Conn, J.E., Borden, J.H., Scott, B.E., Frieske, L.M., Pierce, H.D., Oehlschlager, A.C., 1983. Semiochemicals for the mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae) in Br. Columbia: field trapping studies. *Can. J. For. Res.* 13, 320-324.
- Dicke, M., 1999. Specificity of herbivore-induced plant defenses. in: Chadwch J., Good. J. (Eds.), *Insect-plant interactions and Induced plant defense*. Novartis Foundation Symposium 223. Wiley, Chichester, United Kingdom, pp. 43-59.
- Gough, A.J.E., Hall, D.R., Beevor, P.S., Cork, A., Bursell, E., Vale, G.A., 1987. Attractants for tsetse from cattle urine. Proc. 19th Meeting International Scientific Council for Trypanosomiasis Reserch Control, Lome, Togo, 27 March-4 April.
- Gouinguéné, S., Alborn, H., Turlings, T.C.J., 2003. Induction of volatile emissions in maize by different larval instars of *Spodoptera littoralis*. *J. Chem. Ecol.* 29, 145-162.
- Gouinguéné, S.P., Turlings, T.C.J., 2002. The effects of abiotic factors on induced emissions in corn plant. *Plant Physiol.* 129, 1296-1307.
- Hartmann, T., 2004. Plant-derived secondary metabolites as defensive chemicals in herbivorous insects: a case study in chemical ecology. *Planta* 219, 14.
- Hooper, A.M., Donato, B., Woodcock, C.M., Park, J.H., Paul, R.L., Boo, K.S., Hardie, J., Pickett, J.A., 2002. Characterization of (1R,4S,4aR,7S,7aR)-dihydronepetalactol as a semiochemical for lacewings, including *Chrysopa* spp. and *Peyerimhoffina gracilis*. *J. Chem. Ecol.* 28: 849-864.
- James, D.G., 2003. Synthetic herbivore-induced plant volatiles as field attractants for beneficial insects. *Environ. Entomol.* 32, 977-982.
- James, D.G., Price, T.S., 2004. Field testing of methyl salicylate for recruitment and retention of beneficial insects in grapes and hops. *J. Chem. Ecol.* 30, 1613-1628.
- Kappmeier, K., Nevill, E.M., 1999. Evaluation of conventional odour attractants for *Glossina brevipalpis* and *Glossina austeni* (Diptera: Glossinidae) in South Africa. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 66, 307-316.
- Kohnle, U., Musson, M., Bubbel, V., Francke, W., 1987. Acetophensone in the aggregation of the beech bark beetle, *Taphrorychus bicolor* (Co., Scolytidae). *J. Appl. Entomol.* 103, 249-252.
- Mattiacci, L., Rocca, B.A., Scascighini, N., D'Alessandro, M., Hern, A., Dorn, S., 2001. Systemically-induced plant volatiles emitted at the time of danger. *J. Chem. Ecol.* 27, 2233-2252.
- McElvain, S.M., Bright, R.D., Johnson, P.R. 1941. The constituents of the volatile oil of catnip. I. Nepetalic acid, nepetalactone, and related compounds. *J. Am. Chem. Soc.* 63, 1558-1563.
- New, T.R.R., 1988. Neuroptera. in: Minks, K., Harrewijn, P. (Eds.), *Aphids: their biology, natural enemies and control*. Vol. 2B. Elsevier, Amsterdam, pp. 249-258.
- Obata, S., 1986. Mechanism of prey finding in the aphidophagous ladybird beetle *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). *Entomophaga* 31, 303-311.
- Sullivan, R.T., 2005. Electrophysiological and behavioral responses of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Curculionidae) to volatiles isolated from conspecifics. *J. Econ. Entomol.* 98, 2067-2078.
- Turlings, T.C.J., Wäckers, F., 2004. Recruitment of predators and parasitoids by herbivore-injured plants. in: Carde, R.T., Millar, J.G. (Eds.), *Advances in insect chemical ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 2175.
- Wadhams, L.J., 1990. The use of coupled gas chromatography: electrophysiological techniques in the identification of insect pheromones. in: McCaffery, A.R., Wilson, I.D. (Eds.), *Chromatography and isolation of insect hormones and pheromones*. Plenum Press, New York, pp. 289-298.
- Zhang, Q.H., Chauhan, K.R., Erbe, E.F., Vellore, A.R., Aldrich, J.R., 2004. Semiochemistry of the goldeneyed lacewing *Chrysopa oculata*: attraction of males to a male-produced pheromone. *J. Chem. Ecol.* 30, 1849-1870.
- Zhu, J.W., Obrycki, J.J., Ochieng, S.A., Baker, T.C., Pickett, J.A., Smiley, D., 2005. Attraction of two lacewing species to volatiles produced by host plants and aphid prey. *Naturwissenschaften* 92, 277-281.
- Zhu, J.W., Unelius, R.C., Park, K.C., Ochieng, S.A., Obrycki, J.J., Baker, T.C., 2000. Identification of (Z)-4-tridecene from defensive secretion of green lacewing, *Chrysoperla carnea*. *J. Chem. Ecol.* 26, 2421-2434.