

점박이응애에 대한 Terpene류의 혼증과 기피효과

이소영 · 유정수 · 문선주¹ · 이상길² · 김철수³ · 신상철³ · 김길하*

충북대학교 농과대학 농생물학과, ¹(주)비아이지, ²남부임업시험장, ³임업연구원 산림병해충과

Fumigant and Repellency Effects of Terpenes against the Two-Spotted Spider Mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae)

So-Young Lee, Jeong-Su Yoo, Sun-Ju Moon¹, Sang-Gil Lee², Chul-Su Kim³,
Sang-Chul Shin³ and Gil-Hah Kim*

Dept. of Agri. Biology, Coll. of Agri. Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Republic of Korea

¹BIG Co. Ltd, Daejeon, 306-230, Republic of Korea

²Nambu Experiment Station, Korea Forest Research Institute, Jinju 660-300, Republic of Korea

³Division of Forest Disease and Insect pest, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Republic of Korea

ABSTRACT : These studies were carried out to investigate fumigant, contact toxicity and repellency effects of 34 terpenes against acaricide susceptible the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. In addition, the efficacy was also tested against two acaricide-resistant strains. Two terpenes, isosafrole and safrole showed fumigant toxicity of 98.4%, at 10 µl/l (air) concentration. LD₅₀ values of these two terpenes were 2.6 µl/l and 4.3 µl/l, respectively. Most terpenes showed low or no contact toxicity, except isosafrole showing 60.2% mortality against eggs. Hexanoic acid and limonene showed repellency effects of 79.1%, 87.8%, respectively, to the susceptible strain at concentration of 1,000 ppm in the lab conditions. Hexanoic acid (1,000 ppm) showed repellency effect of 77.8% and 83.3% to fenprothrin and pyridaben resistant strains, respectively. However, limonene showed no repellency to the two resistant strains.

KEY WORDS : *Tetranychus urticae*, Terpene, Fumigant effect, Repellency

초 록 : 점박이응애(*Tetranychus urticae*)에 대한 34종 terpene의 혼증독성, 접촉독성 및 기피효과를 조사하였다. 혼증독성은 10 µl/l (공기)의 농도에서 isosafrole, safrole이 모두 98.4%의 살비율을 나타내었다. 이 두 화합물의 LD₅₀값은 각각 2.6, 4.3 µl/l이었다. 접촉독성은 isosafrole만이 알에 대해서 60.2%의 살란활성을 보인 것 외에 대부분의 terpene에서 활성이 낮거나 없었다. 약제감수성 계통에 대한 기피반응을 조사한 결과 hexanoic acid와 limonene이 1,000 ppm에서 각각 79.1%와 87.8%의 기피효과를 나타내었다. 한편 fenprothion저항성 계통과 pyridaben저항성계통에 대해서 hexanoic acid는 각각 77.8%과 83.3%의 기피효과를 나타내었다. 그러나 두저항성계통에 대한 limonene (1,000 ppm)의 기피효과는 각각 17.8%와 10.0%로서 감수성계통에 대한 기피효과와 상반된 결과를 나타내었다.

검색어 : 점박이응애, 테르펜, 혼증효과, 기피효과

*Corresponding author. E-mail: khkim@trut.chungbuk.ac.kr

점박이응애는 여러 농작물에 피해를 주는 세계적인 주요 해충이다(Asda, 1978; Cho *et al.*, 1995; Ho, 2000; Takafuji *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2003). 점박이응애의 저항성으로 인한 피해는 우리나라 및 세계각국에서 보고되었고(Kono, 1985; Martison *et al.*, 1991; Cho *et al.*, 1995; Song *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 1999), 이에 대한 해결책을 위하여 많은 연구자들이 노력을 기울여 왔으나(Croft *et al.*, 1987; Lee, 1990; Ahn *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 1999), 아직까지 약제 저항성은 해결하지 못하고 있다.

식물이 생성하는 2차 대사산물로는 terpene (mono-, sesqui-, and di-)류, alkaloid류, polyacetylene류, flavonoid류, sugar류가 있다. 특히 monoterpene은 곤충의 기본적인 생화학적 대사 뿐만 아니라, 물리적, 행동학적인 기능을 저해하기 때문에(Brattsten, 1983), 해충 방제제 개발로 많이 연구되었다(Dev *et al.*, 1982; Banthorpe, 1991; Rice and Coats, 1994; Tiberi *et al.*, 1999; Byers *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2002; Yoo *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2003). Rice and Coats (1994)는 pulegone, fenchone 등의 monoterpene이 거릿쌀도둑거저리에 대해 우수한 훈증효과를 보였음을 보고하였고, Byers *et al.* (2000)는 verbenone이 소나무의 나무좀(*Pityogenes bidentatus*)에 대해 기주유인성이 있음을 확인했다. Tiberi *et al.* (1999)은 limonene이 나비목 곤충의 일종인 *Thaumatopoea pityocampa*에 대해서 산란을 저해한다고 보고하였다. Yoo *et al.* (2002)은 털두꺼비하늘소 성충에 대해서 25종의 monoterpene 중 geraniol이 산란기피 효과가 가장 높았으나 잔효성이 없음을 보고하였다. 이와 같이 monoterpene은 해충에 대해 독성을 나타내나, 포유동물에 대해 급성독성이 거의 없고, 또한 음식조미료, 향료, 소염제, 외용의 진통제(external analgesic) 그리고 방부제로 사용된다(Templeton, 1969). 실례로 limonene은 개나 고양이에 대한 고양이벼룩(*Ctenocephalides felis*)의 방제 약제로 EPA (Environmental Protection Agency)에 등록되었으며 또한 바구미에 대해 독성을 나타낸다고 보고되었다(Taylor and Viekey, 1974; Collart and Hink, 1986; Hink and Fee, 1986). Terpene류를 이용한 방제제 연구는 제한 공간에서 서식하는 저곡해충을 대상으로 수행되어 왔다. 그러나 공간상의 어려운 문제로 농업해충에 대한 연구는 거의 없다.

이에 본 연구는 대체 약제를 위해 식물에서 유출되는 휘발물질인 terpene을 가지고 시설하우스에 발생

하는 점박이응애의 방제제를 탐색하고자 한다. 34종의 terpene을 이용하여 점박이응애에 대해 훈증독성, 접촉독성을 평가하였고, 성충이 기피를 보이는 terpene을 탐색하여 점박이응애에 방제에 기초자료를 제공하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험응애

시험에 사용된 감수성 점박이응애는 한국화학연구소에서 분양받아 1998년부터 충북대학교 농생물학과 실내에서 온도 25-28°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 40-60% 조건하에서 약제처리 없이 누대 사육한 것을 사용하였으며, 저항성계통은 1998년 6월 충북 청주시 과수원에서 채집하여 실내에서 fenprothrin과 pyridaben으로 각각 4년 이상 누대선발(각각 150회 이상)한 것을 fenprothrin저항성계통과 pyridaben저항성계통으로 하였다.

Fenprothrin과 pyridaben의 LC₅₀값과 저항성비는 다음과 같다. Fenprothrin은 감수성계통의 알과 성충에 대해서 LC₅₀값이 각각 1.83 ppm, 0.48 ppm, fenprothrin저항성계통에 대해서 각각 >2,000 ppm으로 각각 >1,092.9배, >4,166.7배의 저항성비를 나타내었다. Pyridaben은 두 계통의 성충에 대해서 효과가 없어 LC₅₀값을 구할 수 없었으나, 알에 대한 LC₅₀값은 감수성계통이 1.19 ppm, pyridaben저항성계통이 >2,000 ppm으로 >1,680.7배의 저항성비를 나타내었다.

시험화합물

Terpene류는 시판되고 있는 상품을 구입하여 시험에 이용하였다. β -myrcene (90%), (*E*)-caryophyllene (100%), (*E*)-cinnamaldehyde (99%), borneol (88%), citronellol (95%), eugenol (99%), geraniol (98%), safrole (97%)는 Sigma Co. (St. Louis, MO)에서 구입하였고, α -ionone (90%), α -pinene (98%), α -terpineol (90%), γ -terpinene (97%), *p*-cymene (99%), 1-nonanol (99%), bornylacetate (97%), camphene (95%), camphor (96%), carvacrol (98%), carveol (97%), carvone (98%), 1,8-cineole (99%), citral (95%), citronellic acid (98%), fenchone (98%), hexanoic acid (99%), isosafrole (97%),

limonene (97%), linalool (97%), menthol (99%), menthone (90%), perillyl alcohol (96%), pulegone (85%), thymol (98%), valeric acid (99%)는 Aldrich Chemical Co. (Milwaukee, WI)에서 구입하였다.

혼중독성 검정법

접박이용에 대한 terpene류의 혼중독성은 파종 2주된 강낭콩잎의 줄기의 중앙(main stem) 상단에 점착제(LG-caltex oil)를 처리하고, 접박이용에 성충을 강낭콩잎에 20마리를 접종한 후, 투명한 원통형아크릴용기($\Phi 9 \times 15$ cm)에 넣고, 각 화합물 원액을 filter paper ($\Phi 5.5$ cm/2)에 적정량($10 \mu\text{l/l}$) 처리하여 원통형아크릴용기 바닥에 놓았다. 화합물의 휘발성분이 용기 밖으로 휘발되는 것을 막기 위해 페트리디쉬($\Phi 9$ cm)를 뚜껑으로 사용하여 휘발성분이 밖으로 새지 않도록 파라필름으로 밀봉했다. 처리 24시간 후에 사충수(움직이지 못한 것을 죽은 것으로 판단)를 조사하였으며, 모든 시험은 반복당 20마리씩 3반복으로 하였다. 시험 조건은 온도 25-28°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 50-60%로 하였다. 결과 분석은 Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991)를 이용하였다.

접촉독성 검정법

페트리디쉬($\Phi 5$ cm)에 강낭콩 잎절편($\Phi 2.5$ cm)을 놓고 접박이용에 성충을 20마리씩 접종하였다. 각 화합물을 에탄올에 용해시켜 100 ppm의 triton X-100 계면활성수용액과 혼합하여 희석액 중에 에탄올과 계면활성수용액의 비율이 1:9가 되도록 조제한 희석액(1,000 ppm)을 분무법으로 잎이 충분히 젖을 정도로 처리하여 48시간 후에 사충수(움직이지 못한 것을 죽은 것으로 판단)를 조사하였으며, 모든 시험은 반복당 20마리씩 3반복으로 하였다.

알에 대한 접촉독성 시험은 위와 같은 성충접종 조건에서 3시간 동안 산란한 알로써 실험하였다. 화합물 희석은 성충 접촉독성 시험과 동일하게 알이 산란된 잎절편을 30초 동안 화합물 희석액에 침지한 후 무처리구와 비교하여 부화억제율을 조사하였다. 모든 시험은 반복당 20개씩 3반복으로 하였다. 온도와 광 및 습도 조건은 혼중독성 시험과 동일하게 했다. 결과 분석은 Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991)를 이용하였다.

기피반응 시험

약제희석은 접촉독성 시험법과 같은 방법으로 하였으며, 파종 2주된 강낭콩잎을 가로 세로 4cm되게 남기고 잘랐다. Kim *et al.* (1997)의 검정법 1에 준하여 중앙 줄기 상단에 점착제(LG-caltex oil)를 처리하고 한쪽 잎을 약액에 침지법으로 10초 동안 침지하였다가 후드내에서 음건시켰다. 처리 후 암컷 성충 30마리를 접촉하고 다른 한쪽 잎은 무처리구로 하였으며, 처리 24시간 후 보행에 의한 이동과 실을 토해내서 낙하하는 행동 그리고 잔류 마리수로 구분하여 평가하였다. 모든 실험은 반복당 30마리씩 3반복으로 하였다. 결과 분석은 binominal sign test (Zar, 1996)를 이용하였다.

결과 및 고찰

혼중독성

접박이용에 대한 혼중효과는 원통형아크릴용기(954 ml)를 이용하여 실내에서 수행하였다. 34종 terpene의 대한 살비활성은 화합물에 따라 확연한 차이를 보였다(Table 1). $10 \mu\text{l}$ 의 약량처리에서 isosafrol과 safrol이 모두 98.4%의 살비율을 보였고, 다음으로 carvacrol이 58.3%였다. 효과가 좋았던 위 두 약제를 가지고 약량을 낮추어서 시험해 본 결과 LD_{50} 값은 isosafrol은 $2.6 \mu\text{l/l}$ 를 나타냈고, safrol은 $4.3 \mu\text{l/l}$ 를 나타냈다(Fig. 1). Lee *et al.* (2002)은 12종의 monoterpene 중에서 1, 8-cineol이 거짓쌀도둑거저리(*Tribolium castaneum*)에 대해서, Kim and Ahn (2001)은 (+)-fenchone이 저곡해충인 쌀바구미와 팔바구미 그리고 권연벌레에 대해서, 그리고 Rice and Coats (1994)은 합성유기인계 살충제인 DDVP와 비교하여 pulegone이 거짓쌀도둑거저리에 대해 혼중독성을 나타냈다고 하여 이들물질이 저곡해충의 방제에 이용될 수 있는 가능성을 제시하였다. 또한 Ngho *et al.* (1998)은 9종의 휘발성화합물 중 isosafrol과 safrol이 이질바퀴(*Periplaneta americana*)에 대해서 혼중효과가 좋았고, Roger and Hamraoui (1995)는 강낭콩바구미에 대해서 13종의 monoterpeneoid 중 linalool이 혼중독성이 가장 높았다고 보고하였다. 이상의 결과에서 보는 바와 같이 terpene류를 이용한 혼중제 개발은 주로 저곡해충을 대상으로 연구되어 왔으나 농업해충에 대한 연구

Table 1. Fumigant toxicity of terpenes against acaricide-susceptible *T. urticae* adult females at 24 h after filter paper application in 954 ml fumigation chamber

Compound	% Mortality ^{b)} (mean ± SD)	Compound	% Mortality ^{b)} (mean ± SD)
Borneol	3.4 ± 4.7de	Menthol	48.4 ± 2.3bc
Bornyl acetate	0.0 ± 0.0e	Menthone	3.4 ± 4.7de
Camphene	26.7 ± 28.3cd	Perillyl alcohol	1.7 ± 2.3de
Camphor	0.0 ± 0.0e	Pulegone	8.4 ± 2.3de
Carvacrol	58.3 ± 7.1b	Safrole	98.4 ± 2.3a
Carveol	11.7 ± 2.3de	Thymol	11.7 ± 7.1de
Carvone	8.4 ± 2.3de	(<i>E</i>)-caryophyllene	10.0 ± 9.5de
1, 8-Cineole	0.0 ± 0.0e	(<i>E</i>)-cinnamaldehyde	5.0 ± 2.4de
Citral	6.7 ± 9.4de	Valeric acid	11.7 ± 7.1de
Citronellal	5.0 ± 7.1de	α-Ionone	6.7 ± 0.0de
Citronellol	5.0 ± 2.4de	α-Pinene	3.3 ± 0.0de
Eugenol	1.7 ± 2.3de	α-Terpineol	10.0 ± 4.7de
Fenchone	10.0 ± 4.7de	β-Myrcene	1.7 ± 2.3de
Geraniol	5.0 ± 2.4de	<i>p</i> -Cymene	10.0 ± 4.7de
Hexanoic acid	10.0 ± 0.0de	γ-Terpinene	3.4 ± 4.7de
Isosafrole	98.4 ± 2.3a	1-Nonanol	3.3 ± 0.0de
Limonene	0.0 ± 0.0e	Control	1.7 ± 2.3de
Linalool	1.7 ± 2.3de		

^{a)} Sixty adult females were exposed to 10 µl fumigant/l air in each treatment with 3 replications.

^{b)} Means followed by the same letter are not significantly different $P < 0.05$ by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1999).

결과는 거의 없다. 이유는 저곡해충과 달리 농업해충은 제한된 공간이 아니기 때문인 것으로 생각되며, 추후 본 연구에서 얻어진 결과를 시설하우스 점박이응애 방제에 적용시점이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

접촉독성

접촉독성은 알과 성충으로 구분하여 부화억제제와 살비율을 구하였다. 점박이응애 알에 대한 terpene류의 부화억제 효과는 1,000 ppm의 농도에서 isosafrol이 60.2%로 가장 높게 나타났으며 대부분은 효과가 없는 것으로 나타났다(Table 2). 성충에 대해서는 모든 terpene의 살비율이 35% 이하로 접촉독성이 없다고 판단되었다(Table 3). 그러나 Lee *et al.* (1997)이 보고에 의하면 34종의 monoterpeneoid에 대해 잎침지법으로 점박이응애에 대한 살충활성을 조사한 결과, carvomenthenol과 terpinon-4-ol이 높은 살충활성을 나타내었고, Kim and Ahn (2001)은 (+)-fenchone이 쌀바구미와 팥바구미에 대해서 접촉독성이 높다고 보고하였다. 그러나 본 실험의 결과에서와 같이 많은 논문에서 monoterpeneoid 화합물이 접촉독성이 없거나, 아주 경

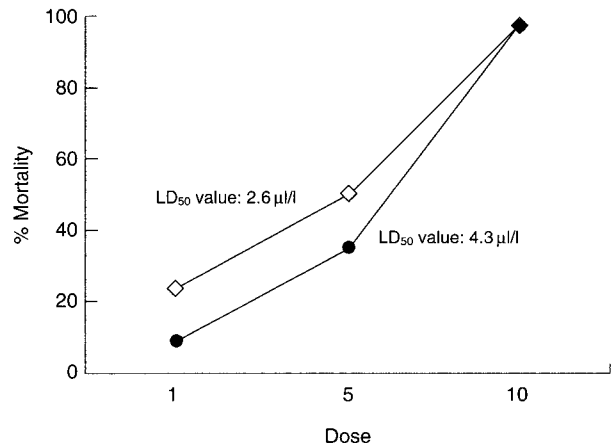
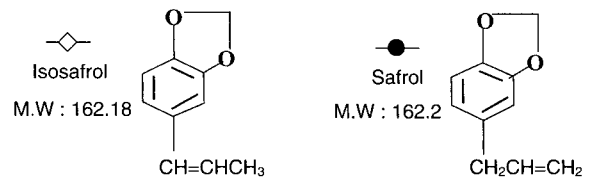


Fig. 1. Fumigant toxicity of isosafrol and safrol against acaricide-susceptible *T. urticae* adult females at 24 h after filterpaper application in 954 ml fumigation chamber.

Table 2. Contact toxicity of terpenes against acaricide-susceptible *T. urticae* eggs by leaf-dip application (1,000 ppm)^{a)}

Compound	% Mortality ^{b)} (mean ± SD)	Compound	% Mortality ^{b)} (mean ± SD)
Borneol	9.1 ± 5.9b	Menthol	18.3 ± 5.6b
Bornyl acetate	23.5 ± 5.8ab	Menthone	25.7 ± 14.6b
Camphene	8.9 ± 12.9b	Perillyl alcohol	31.3 ± 11.4ab
Camphor	3.2 ± 2.8b	Pulegone	20.4 ± 11.2ab
Carvacrol	20.8 ± 15.1ab	Safrole	98.4 ± 2.3a
Carveol	17.8 ± 13.0b	Thymol	23.4 ± 5.4ab
Carvone	38.7 ± 22.2ab	(<i>E</i>)-caryophyllene	15.7 ± 13.5b
1, 8-Cineole	29.7 ± 21.7ab	(<i>E</i>)-cinnamaldehyde	12.4 ± 2.4b
Citral	28.8 ± 24.7ab	Valeric acid	14.3 ± 11.4b
Citronellal	9.5 ± 7.3b	α-Ionone	28.2 ± 42.5ab
Citronellol	4.6 ± 1.3b	α-Pinene	3.5 ± 1.9b
Eugenol	5.8 ± 4.3b	α-Terpineol	6.8 ± 3.6b
Fenchone	14.9 ± 10.6b	β-Myrcene	44.5 ± 31.4ab
Geraniol	28.6 ± 8.6ab	<i>p</i> -Cymene	5.8 ± 6.3b
Hexanoic acid	23.6 ± 24.7ab	γ-Terpinene	34.2 ± 11.3ab
Isosafrole	60.2 ± 14.7a	1-Nonanol	10.8 ± 3.7b
Limonene	20.0 ± 11.7ab	Control	3.0 ± 4.1b
Linalool	18.3 ± 8.2b		

^{a)} Mean of three replications; sample size, 20-31 eggs per replication.

^{b)} Means followed by the same letter are not significantly different $P < 0.05$ by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1999).

미한 것으로 보고된 바 있다(Rice and Coats, 1994; Tiberi *et al.*, 1999; Keita *et al.*, 2000; Yoo *et al.*, 2002).

Table 3. Contact toxicity of terpenes against acaricide-susceptible *T. urticae* adult females at 48 h by spray application (1,000 ppm)^{a)}

Compound	% Mortality ^{b)} (mean ± SD)	Compound	% Mortality ^{b)} (mean ± SD)
Borneol	26.5 ± 14.7a-d	Menthol	7.7 ± 7.2a-d
Bornyl acetate	0.0 ± 0.0d	Menthone	29.3 ± 4.8a-c
Camphene	11.8 ± 5.6a-d	Perillyl alcohol	16.5 ± 5.2a-d
Camphor	7.4 ± 2.3b-d	Pulegone	18.0 ± 13.5a-d
Carvacrol	3.1 ± 2.7cd	Safrole	4.7 ± 4.6b-d
Carveol	0.0 ± 0.0d	Thymol	11.5 ± 3.0a-d
Carvone	31.3 ± 7.4ab	(E)-caryophyllene	2.9 ± 2.6cd
1, 8-Cineole	19.5 ± 12.0a-d	(E)-cinnamaldehyde	13.2 ± 7.2a-d
Citral	19.5 ± 9.3a-d	Valeric acid	4.8 ± 8.3b-d
Citronellic acid	12.5 ± 2.1a-d	α-Ionone	12.0 ± 8.2a-d
Citronellol	20.1 ± 11.1a-d	α-Pinene	10.1 ± 13.2a-d
Eugenol	8.0 ± 9.8a-d	α-Terpineol	10.6 ± 5.9a-d
Fenchone	1.5 ± 2.6d	β-Myrcene	25.8 ± 3.8a-d
Geraniol	6.4 ± 7.3cd	p-Cymene	6.1 ± 5.3b-d
Hexanoic acid	26.2 ± 16.7a-d	γ-Terpinene	11.1 ± 19.2a-d
Isosafrole	34.7 ± 7.2a	1-Nonanol	7.8 ± 5.7a-d
Limonene	1.6 ± 2.8d	Control	2.9 ± 3.9cd
Linalool	9.3 ± 8.1a-d		

^{a)} Mean of three replications; sample size, 20 adults per replication.
^{b)} Means followed by the same letter are not significantly different $P < 0.05$ by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1999).

기피반응

Terpene류에 대한 점박이응애의 행동반응은 성충을 이용하여 three choice test로 보행과 낙하에 의한 반응을 조사하여 기피효과를 구하였다. 44종의 terpene 중에서 limonene이 1,000 ppm의 농도에서 87.8%의 가장 높은 기피율을 나타냈고, 다음으로 hexanoic acid가 79.1%이었다. 그외 terpene은 70% 이하의 기피효과를 나타내었다(Table 4). 점박이응애 성충에 대해서 기피효과가 있다고 판단된 limonene과 hexanoic acid를 이용하여 농도를 각각 10, 100, 500, 1,000 ppm으로 하여 처리한 결과, 100 ppm 이상의 농도에서는 두 화합물 모두 75-89%의 기피효과를 보였으나 10 ppm에서는 limonene이 63.4%, hexanoic acid가 42.2%로 기피효과가 떨어졌다(Fig. 2). 또한 이 두 화합물을 사용하여 fenpropathrin과 pyridaben저항성 계통의 점박이응애 성충에 대한 기피율을 조사하였다(Table 5). Fenpropathrin저항성 계통에 대해서 hexanoic acid는 1,000, 500 ppm에서 각각 77.8, 69.2%의 기피효과를 보였으나, limonene은 1,000 ppm에서 17.8%의 기피율을 보여 감수성 점박이응애와는 상이한 결과를 보였다. 또한 pyridaben저항성 계통에 대해서 hexanoic acid가 1,000, 500, 100 ppm에서 각각 83.3%, 66.7%, 61.8%의 기피효과를 보인 반면 limonene은 1,000 ppm에서

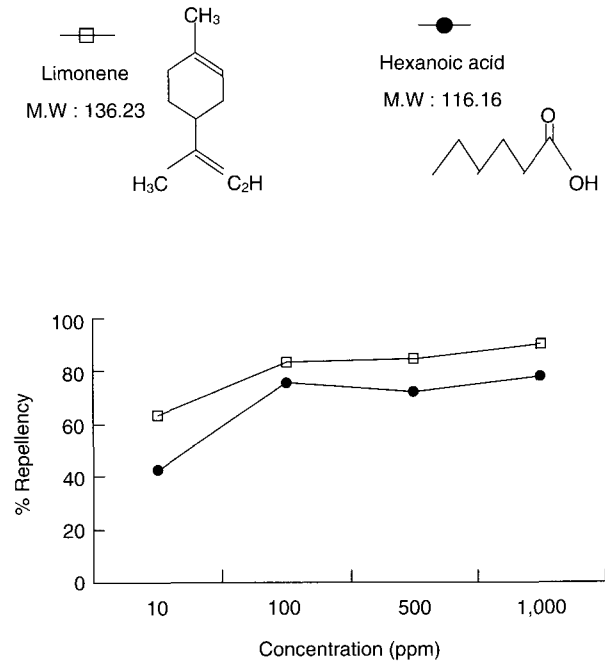


Fig. 2. Repellency of limonene and hexanoic acid against acaricide-susceptible *T. urticae* adult females in the three-choice condition.

49.5%로 pyridaben저항성 계통에 대해서 기피효과가 감수성과 비교해서 현저히 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 hexanoic acid가 두 저항성계통에 대해서 500 ppm까지 기피효과를 나타내었으나, limonene은 효과가 낮아 활용적인 면에서 반드시 살비제 저항성계통 점박이응애 또는 야외 집단에 대한 검토가 있어야 할 것으로 생각된다. Tiberi et al. (1999)은 *Thaumetopoea pityocampa* (제주나방과)에 대해서 limonene은 산란기 피효과가 있다고 보고하였고, 특히 소나무에서 생성되는 (S)-(-)-limonene보다 (R)-(+)-limonene이 산란기 피효과가 더 큰 것으로 보고하였다. 본 실험의 결과에서도 limonene이 기피반응에 영향을 주는 것으로 나타났다. Yoo et al. (2002)은 털두꺼비하늘소에 대한 후각계(Y-tube olfactometer)를 이용한 25종의 monoterpenoid 중 bornylacetate, carvacrol, 1, 8-cineole, menthol이, 그리고 Ngho et al. (1998)는 이질바퀴 약충에 대한 9종의 monoterpenoid 중 safrole이 기피반응이 높다고 보고하였다. 이것은 terpene류가 해충에 대해서 특이하게 작용할 수 있다는 것을 시사한다. 앞으로의 과제는 기피제를 시설하우스내에서 점박이응애의 방제에 이용할 수 있도록 현장적용 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Table 4. Repellency of terpenes against acaricide-susceptible *T. urticae* adult females in the three choice condition

Compound	Conc. (ppm)	No. of mite in			% ^{a1} Repellency	Sign test ^{b1}
		Treated side (T)	Untreated side (U)	Spindown (S)		
Borneol	1,000	75	12	3	16.7 ± 10.0	ns ^{c1}
Bornyl acetate	1,000	41	39	10	54.4 ± 16.5	ns
Camphene	1,000	63	24	3	26.5 ± 3.4	ns
Camphor	1,000	62	27	1	31.1 ± 8.4	ns
Carvacrol	1,000	30	50	10	70.0 ± 3.3	P < 0.001
Carveol	1,000	37	47	6	58.9 ± 10.2	ns
Carvone	1,000	52	36	5	44.1 ± 3.6	ns
1,8-Cineole	1,000	70	14	7	23.1 ± 7.0	ns
Citral	1,000	75	12	3	16.7 ± 6.7	ns
Citronellic acid	1,000	47	36	7	54.5 ± 29.9	ns
Citronellol	1,000	35	42	13	53.3 ± 6.7	P < 0.05
Eugenol	1,000	49	36	5	45.5 ± 33.4	ns
Fenchone	1,000	54	24	12	40.0 ± 16.7	ns
Geraniol	1,000	41	43	6	54.4 ± 10.7	ns
Hexanoic acid	1,000	29	62	1	79.1 ± 31.0	p < 0.001
Isosafrole	1,000	42	50	1	54.6 ± 7.2	ns
Limonene	1,000	11	73	6	87.8 ± 6.9	p < 0.001
Linalool	1,000	69	16	5	23.3 ± 15.3	ns
Menthol	1,000	33	42	5	52.2 ± 21.5	P < 0.01
Menthone	1,000	57	27	6	36.7 ± 5.8	ns
Perillyl alcohol	1,000	45	28	7	38.9 ± 17.1	ns
Pulegone	1,000	73	19	0	20.7 ± 16.4	ns
Safrole	1,000	63	20	7	30.0 ± 30.0	ns
Thymol	1,000	45	42	3	50.0 ± 37.8	ns
(E)-caryophyllene	1,000	45	35	9	49.8 ± 30.2	ns
(E)-cinnamaldehyde	1,000	79	5	2	7.7 ± 8.4	ns
Valeric acid	1,000	67	16	7	25.5 ± 5.1	ns
α-Ionone	1,000	79	5	6	10.2 ± 3.7	ns
α-Pinene	1,000	73	13	4	18.9 ± 5.1	ns
α-Terpineol	1,000	59	29	2	34.5 ± 13.5	ns
β-Myrcene	1,000	74	16	1	18.7 ± 1.8	ns
p-Cymene	1,000	70	20	0	22.2 ± 16.5	ns
γ-Terpinene	1,000	78	7	5	13.4 ± 3.4	ns
1-Nonanol	1,000	51	36	3	43.3 ± 18.5	ns
Control	1,000	83	0	6	6.6 ± 5.1	ns

^{a1} Repellency (%) = (U + S / U + S + T) * 100.^{b1} Significant differences were analysed by binominal sign test (Zar, 1996).^{c1} ns: not significant.**Table 5.** Repellency of two compounds against fenpropathrin and pyridaben resistant *T. urticae* adult females in the three choice condition

Compound	Conc. (ppm)	No. of mite in			% ^{a1} Repellency	Sign test ^{b1}
		Treated side (T)	Untreated side (U)	Spindown (S)		
Fenpropathrin-resistant strain						
Hexanoic acid	1,000	18	70	2	77.8 ± 5.7	p < 0.001
	500	25	63	3	69.2 ± 8.8	p < 0.001
	100	42	31	6	46.8 ± 11.7	ns ^{c1}
Limone	1,000	74	13	3	17.8 ± 5.1	ns
Pyridaben-resistant strain						
Hexanoic acid	1,000	15	70	5	83.3 ± 5.7	p < 0.001
	500	30	58	2	66.7 ± 8.8	p < 0.001
	100	34	52	3	61.8 ± 11.7	P < 0.05
Limone	1,000	46	35	10	49.5 ± 5.1	ns
Control	—	71	7	2	10.0 ± 8.8	ns

^{a1} Repellency (%) = (U + S / U + S + T) * 100.^{b1} Significant differences were analysed by binominal sign test (Zar, 1996).^{c1} ns: not significant.

사 사

본 연구는 농림부 농림기술관리센터와 한국과학재단 지정 충북대학교 첨단원예기술개발연구센터의 지원으로 수행한 결과의 일부분임.

Literature Cited

- Ahn, Y.J., J.K. Yoo, J.R. Cho, J.O. Lee and S.C. Moon. 1996. Evaluation of effectiveness of AC303630 and flucyclozuron mixtures against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) under laboratory and field conditions. *Appl. Entomol. Zool.* 31: 67-73.
- Asda, M. 1978. Genetics and biochemical mechanism of acaricide resistance in phytophagous mites. *J. Pestic. Sci.* 3: 61-68.
- Banthorpe, D.V. 1991. Classification of terpenoids and general procedures for their characterization. pp. 1-41. *In* B.V. Charlwood and D.V. Banthorpe [eds.], *Methods in Plant Biochemistry*. Vol. 7. Terpenoids. Academic, London.
- Brattsten, L.B. 1983. Cytochrome P-450 involvement in the interactions between plant terpenes and insect herbivores. pp. 173-195. *In* P.A. Hedin [ed.], *Plant Resistance to Insects*, ACS (Am. Chem. Soc.), Washington, DC.
- Byers, J.A., Q.H. Zhang and G. Birgersson. 2000. Strategies of a bark beetle, *Pityogenes bidentatus*, in an olfactory landscape. *Naturwissenschaften* 87: 503-507.
- Cho, J.R., Y.J. Kim, Y.J. Ahn, J.K. Yoo and J.O. Lee. 1995. Monitoring of acaricide resistance in field-collected populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 34: 40-45.
- Croft, B.A., S.C. Hoyt and P.H. Westgard. 1987. Spider mite on fruits, revised: organotin and acaricide resistance management. *J. Econ. Entomol.* 80: 304-311.
- Collart, M.G. and S.F. Hink. 1986. Sublethal effects of *d*-limonene on the cat flea (*Ctenocephalides felis*). *Entomol. Exp. Appl.* 42: 225-229.
- Dev, S., A.P.S. Narula and J.S. Yadav. 1982. Monoterpenoids, pp. 7-27. *In* S. DEV [ed.], *CRC Handbook of Terpenoids*. CRC. Boca Raton, FL.
- Hink, W.F. and B.J. Fee. 1986. Toxicity of D-limonene, the major component of citrus peel oil, to all life stages of the cat flea, *Ctenocephalides felis* (Siphonaptera: Pulicidae). *J. Med. Entomol.* 23: 400-404.
- Ho, C.C. 2000. Spider mite problems and control in Taiwan. *Exp. Appl. Acarol.* 24: 453-462.
- Keita, S.M., C. Vincent, J.P. Schmit, S. Ramaswamy and A. Belanger. 2000. Effect of various essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *J. Stored Prod. Res.* 36: 355-364.
- Kim, G.H., Y.H. Choi and K.Y. Cho. 1997. Behavioral responses of bifenthrin- and dicofol-resistant strains in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch to bifenthrin. *Korean J. Entomol.* 27: 99-105.
- Kim, Y.J., H.E. Lee, S.W. Lee, G.H. Kim and Y.J. Kim. 1999. Toxicity of tebufenpyrad to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) and *Amblyseius womersleyi* (Acari: Phytoseiidae) under laboratory and field conditions. *J. Econ. Entomol.* 92: 187-192.
- Kim, D.H. and Y.J. Ahn. 2001. Contact and fumigant activities of constituents of *Foreniculum vulgare* fruit against three coleopteran stored-product insects. *Pest Manag. Sci.* 57: 301-306.
- Kim, E.H., H.K. Kim and Y.J. Ahn. 2003. Acaricidal activity of plant essential oils against *Tyrophagus putrescentiae* (Acari: Acaridae). *J. Asia-Pacific Entomol.* 6: 77-82.
- Kono, S. 1985. Susceptibility of dicofol resistant two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch against various pesticides and their control effects. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 29: 150-157.
- Lee, S.W. 1990. Studies on the pest status and integrated mite management in apple orchards. Ph.D. dissertation, Seoul National University, Suwon.
- Lee, S., R. Tsao, C. Peterson and J.R. Coats. 1997. Insecticidal activity of monoterpenoids to western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae), twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae), and house fly (Diptera: Muscidae). *J. Econ. Entomol.* 90: 883-892.
- Lee, B.H., S.E. Lee, P.C. Annis, S.J. Pratt, B.S. Park and F. Tumaalii. 2002. Fumigant toxicity of essential oils and monoterpenes against the red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst. *J. Asia-Pacific Entomol.* 5: 237-240.
- Lee, Y.S., M.H. Song, K.S. Ahn, K.Y. Lee, J.W. Kim and G.H. Kim. 2003. Monitoring of acaricide resistance in two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) populations from rose greenhouses in Korea. *J. Asia-Pacific Entomol.* 5: 237-240.
- Martison, T.E., T.J. Dennehy, J.P. Nyprop and W.H. Reissing. 1991. Field measurements of selection for two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) resistance to dicofol in apple orchards. *J. Econ. Entomol.* 84: 7-16.
- Ngoh, S.P., L.E.W. Choo, F.Y. Pang, Y. Huang, M.R. Kini and S.H. Ho. 1998. Insecticidal and repellent properties of nine volatile constituents of essential oils against the American cockroach, *Periplaneta americana* (L.). *Pestic. Sci.* 54: 261-268.
- Rice, P.J. and J.R. Coats. 1994. Insecticidal properties of several monoterpenoids to the house fly (Diptera: Muscidae), red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae), and southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol.* 87: 1172-1179.
- Roger, C.R. and A. Hamraoui. 1995. Fumigant toxic activity and reproductive inhibition induced by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera), a bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Stored. Res.* 31: 291-299.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT User's Guide: Statistics, version 6.04. SAS Institute, Cary, N.C., U.S.A.
- Song, C., G.H. Kim, S.J. Ahn, N.J. Park and K.Y. Cho. 1995. Acaricide susceptibilities of the field collected populations of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) from apple orchards. *Korea J. Appl. Entomol.* 34: 328-333.
- Takafuji, A., A. Ozawa, H. Nemoto and T. Gotoh. 2000. Spider mites of Japan: their biology and control. *Exp. Appl. Acarol.* 24: 319-335.
- Taylor, W.E. and B. Viekery. 1974. Insecticidal properties of limonene, a constituent of citrus oil. *Ghana J. Agr. Sci.* 7: 61-62.
- Templeton, W. 1969. An introduction of the chemistry of terpenoids and steroids. Butterworths, London.
- Tiberi, R., A. Niccoli, M. Curini, F. Epifano, M.C. Marcotullio and O. Rosati. 1999. The role of the monoterpene composition in *Pinus* spp. needles, in host selection by the pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa*. *Phytoparasitica* 27: 263-272.
- Yoo, J.S., G.H. Kim, S.G. Lee, S.C. Shin, J.D. Park and S.C. Park. 2002. Insecticidal activity and ovipositional repellency of monoterpenoids against *Moechotypa diphyis* Adults (Coleoptera: Cerambycidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 41: 285-292.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*, 3rd ed. Prentice-Hall International, Inc.

(Received for publication 25 August 2003;
accepted 8 September 2003)