

온실가루이와 담배가루이에 대한 Spearmint Oil의 살충활성

최유미 · 김길하*

충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과

Insecticidal Activity of Spearmint Oil against *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* Adults

Yu-Mi Choi and Gil-Hah Kim*

Dept. of Plant Medicine, College of Agriculture, Life and Environment Sciences,
Chungbuk National University, Cheongju, 361-763, Republic of Korea

ABSTRACT : These studies were carried out to investigate the fumigation and contact toxicities of spearmint oil (*Mentha spicata*) against adults of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* and sweet-potato whitefly, *Bemisia tabaci*. And we carried out the constituent analysis of spearmint oil using gas chromatograph (GC) and gas chromatograph mass spectrometry (GC/MS). Spearmint oil showed 99.1%, 91.7%, 41.1% fumigation toxicity against *T. vaporariorum* adults at 10 μ L/954 mL, 5 μ L/954 mL, 1 μ L/954 mL air concentration, respectively. In case of *B. tabaci* adults, spearmint oil showed 100%, 100%, 61.3% fumigation toxicity, respectively. However, spearmint oil showed < 30% contact toxicity against adults of *T. vaporariorum* and *B. tabaci*. Through the constituent analysis using GC and GC/MS, we confirmed main constituents of spearmint oil were limonene (16.1%), γ -terpinene (13.8%), p -cymene (5.8%), 3-octanol (6.9%), carvone (40.9%). Carvone, major constituent of spearmint oil, also showed 100% fumigation toxicity at 10 μ L/954 mL air concentration.

KEY WORDS : *Trialeurodes vaporariorum*, *Bemisia tabaci*, Spearmint oil, Fumigation toxicity, Contact toxicity, GC, GC/MS

초 록 : 본 연구는 시설하우스의 주요 해충인 온실가루이와 담배가루이에 대한 spearmint oil의 혼증독성 및 접촉독성을 조사하였으며, gas chromatograph (GC)와 gas chromatograph mass spectrometry (GC/MS)를 이용하여 spearmint oil의 주요 구성성분을 분석하였다. 혼증독성 시험 결과, 온실가루이에 대해서 spearmint oil은 10 μ L/954 mL air의 약량처리에서 99.1%의 살충활성을 나타내었으며, 5와 1 μ L/954 mL air의 약량처리에서 각각 91.7%와 41.1%의 살충활성을 나타내었다. 또한 담배가루이에 대해서 spearmint oil은 10 μ L/954 mL air의 약량처리에서 각각 100%의 살충활성을 나타내었으며, 5와 1 μ L/954 mL air의 약량에서도 각각 100, 61.3%의 높은 살충활성을 나타내었다. 그러나 온실가루이와 담배가루이 성충에 대한 spearmint oil의 접촉독성은 살충효과가 30% 이하로 낮았다. Spearmint oil을 GC와 GC/MS로 분석한 결과, limonene (16.1%), γ -terpinene (13.8%), p -cymene (5.8%), 3-octanol (6.9%), carvone (40.9%)이 주요 구성성분으로 나타났으며, 주요성분인 carvone 은 10 μ L/954 mL air 약량에서 100%의 높은 혼증독성을 나타내었다.

검색어 : 온실가루이, 담배가루이, spearmint oil, 혼증독성, 접촉독성, 화학분석

최근 우리나라는 비닐하우스나 온실 등 시설 재배 면적이 급격히 증가하여 온실가루이와 담배가루이와

같은 시설하우스 해충의 월동과 번식에 좋은 조건을 제공하고 있을 뿐 아니라, 기주 범위가 넓고 시설 내

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

에서 발생 세대수가 많기 때문에 이들 해충이 시설내에 침입한 후에 급격히 피해 밀도를 형성하게 되고 살충제에 대한 내성도 쉽게 획득하게 됨으로서 관리가 어려운 실정이다(Choi, 1990). 현재 이러한 시설하우스 해충의 방제를 위해 유기인계, 카바메이트계, 피레스로이드계와 같은 기존의 살충제를 반복적으로 처리함으로써 자연적인 생물적 방제 체계를 혼란시켜왔으며, 저항성 발달의 결과를 초래하게되어 방제에 어려움을 겪고 있다(Dittrich *et al.*, 1990, Immaraju *et al.*, 1992). 또한 이러한 문제점은 방제 대상이 아닌 인간과 환경에 좋지 않은 영향을 미치게 됨으로써 인간 건강과 환경에 관심을 불러일으키게 되었다(Hayes and Laws, 1991). 그리하여 이러한 문제점을 보완하기 위해 이미 오래전부터 환경에 부작용이 적고 인축 독성이 적은 천연물로부터의 저독해충에 대한 활성물질 탐색은 많은 연구가 진행되어왔으나(Isman, 2000; Kim *et al.*, 2003), 시설하우스 해충에 대해서는 연구가 미흡한 실정이었다. 또한 온실가루이(*Trialeurodes vaporariorum*)와 담배가루이(*Bemisia tabaci*)는 기주식물을 엽면의 아래쪽에서 가해하기 때문에 기존의 스프레이 장비로 쉽게 도달하기에 어려운 점이 있었다. 그리하여 온실에서 훈증 활성은 나타내되 유해한 물질은 함유되지 않은 친환경적인 방제제 개발에 관심을 갖게 되었다. 식물정유는 대부분이 해충에 선택적이며, 방제 대상이 되지 않는 유기체와 환경에 대해서 거의 해로운 영향을 미치지 않기 때문에 시설하우스 해충의 방제에 유용하다(Isman, 2000; Kim *et al.*, 2003). 이러한 식물정유는 다양한 곤충 종에 대해서 살란, 기피, 살충활성을 나타낸다고 알려져 있으며(Desmarchelier, 1994; Ahn *et al.*, 1998), 살충제 저항성 해충에 대해서도 효과가 높다고 보고되어 있다(Lindquist *et al.*, 1990). 또한 일부는 초식성 곤충과 식물 병원체에 대해 화학적 방어를 하는 식물을 자연적으로 제공하기 때문에 천연 해충 방제제로 기대되어왔다(Brattsten, 1983). 그중 본 연구에 사용된 spearmint oil은 피부보호제, 구토방지제, 신경안정제, 소화제로 오래전부터 사용되어 왔으며, 비누와 치약, 잼, 캔디, 음료수 등의 주요 향기성분으로 사용되어 왔기 때문에 환경에 안전하다고 알려져 있다(Lawless, 1995). 따라서 본 연구는 spearmint oil을 이용하여 온실가루이와 담배가루이 성충에 대한 훈증독성과 접촉독성을 평가하여 대체 방제제로서의 가능성을 평가하였으며, GC와 GC/MS를 이용하여 spearmint oil의 살충성분을 분

석하였다.

재료 및 방법

시험곤충

온실가루이는 충북대학교 농과대학 온실에서 채집하여 실내에서 토마토 유묘로 누대사육하여 시험에 사용하였으며, 담배가루이는 1999년 6월 충북 진천군 이월면 장미재배지에서 채집하여 실내에서 토마토 유묘(풍생)로 누대사육하면서 시험에 사용하였다. 실내 사육조건은 온도 25-28°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 50-60%로 하였다.

시험화합물

시험에 사용된 식물정유(essential oil)인 muguet flower, peanut, spearmint oil은 (주)샤라보코리아에서 구입하여 시험에 사용하였다. 훈증독성과 접촉독성 시험에 사용된 terpene 화합물인 carvone (98%), ρ -cymene (99%), limone (97%), γ -terpinene (97%)은 Aldrich Chemical Co. (Milwaukee, WI)에서 3-octanol (95%)은 Fluka Co. (Switzerland)에서 구입하여 시험에 사용하였다.

훈증독성 시험

식물정유와 terpene류의 훈증독성은 파종 5주된 토마토 유묘를 원통형 아크릴 용기(Φ 9×15 cm)에 넣고, 온실가루이와 담배가루이의 성충 20-30마리를 접종한 후 각 화합물 원액을 filter paper (Φ 5.5 cm/2)에 적정량 처리하여 원통형 아크릴 용기 벽면에 접촉하였다. 화합물의 휘발 성분이 용기 밖으로 휘발되는 것을 막기 위해 페트리디쉬(Φ 9 cm)를 뚜껑으로 사용하여 파라필름으로 밀봉하였다. 처리 24, 48시간 후에 사충수를 조사하였으며, 모든 시험은 3반복으로 수행하였다. 시험조건은 온도 25-28°C, 광주기 16L:8D, 상대습도 50-60%로 하였다.

접촉독성 시험

식물정유와 terpene류의 접촉독성 시험은 파종 5주된 토마토 유묘를 화합물을 에탄올에 용해시켜 100 ppm의 triton X-100 계면활성수용액과 혼합하여 희석

Table 1. Fumigation toxicity of essential oils against adults of *T. vaporariorum* and *B. tabaci* at 48h after filter paper application in 954 mL fumigation chamber

Essential oil	Mortality ^{a)} (mean ± SD), %					
	n ^{b)}	Dose (μL/mL air)				n
10.5 × 10 ⁻³		5.3 × 10 ⁻³				
<i>T. vaporariorum</i>						
Muguet flower	49	61.3 ± 1.8 ab	- ^{c)}	-	-	-
Peanut	53	30.0 ± 15.2 b	-	-	-	-
Spearmint	86	99.1 ± 1.3 a	61	91.7 ± 11.8 a	57	41.1 ± 7.2 a
<i>B. tabaci</i>						
Muguet flower	60	62.2 ± 7.9 ab	-	-	-	-
Peanut	49	21.2 ± 11.2 b	-	-	-	-
Spearmint	109	100.0 ± 0.0 a	114	100.0 ± 0.0 a	98	61.3 ± 4.8 a

^{a)} Means followed by the same letter are not significantly different at $P=0.05$ by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991).

^{b)} Number of insects tested. ^{c)} No test.

액 중에 에탄올과 계면활성수용액의 비율이 1:9가 되도록 조제한 희석액(1,000 ppm)에 30초간 침지하였다. 침지한 토마토 유묘를 아크릴 사육상(Φ 9 × 15 cm)에 넣고 성충 20-30마리를 접종하고 24, 48시간 후에 사충수를 조사하였다. 에탄올과 계면활성수용액(100 ppm의 triton X-100)의 비율이 1:9가 되도록 조제한 희석액은 온실가루이와 담배가루이 성충에 대한 접촉독에 영향이 없었다. 처리 24, 48시간 후에 사충수를 조사하였으며, 모든 시험은 3반복으로 수행하였다. 시험조건은 혼증독성 시험과 동일하게 하였다.

화학분석

시험에 사용된 식물정유의 성분은 gas chromatography (GC, DS 6200)와 gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS, Hewlett Packard 5890)를 이용하여 분석하였다. 실험에 이용된 column은 DB-WAX (0.25 mm × 30 mm)를 이용하였고 carrier gas는 N₂ gas를 이용하였으며, oven 온도는 50°C-180°C (4°C/min)로 하였다. 또한 주입구의 온도는 200°C로 하였고 검출기 온도는 210°C의 조건하에서 flame ionization detector로 검출하였으며, 이온화는 70 eV에서 수행하였다. 식물정유의 구성성분은 GC-MS로부터 시료의 total ion chromatogram을 얻은 후, WILEY138 library의 자료 (Hewlett Packard)와 비교하여 확인하였다.

통계분석

혼증과 접촉독성 시험의 결과는 Abbott's (1925) 공식에 의해 보정살충율을 구하였으며, Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991)로 비교하였다.

결과 및 고찰

혼증독성

온실가루이와 담배가루이 성충에 대한 식물정유의 혼증효과는 954 mL 혼증용기를 이용하여 실내에서 수행하였다. 각 화합물에 대한 살충활성의 결과는 Table 1과 같다. 3종의 식물정유에 대한 혼증독성의 결과로 온실가루이에 대해서 muguet flower, peanut, spearmint oil은 10 μL/954 mL air의 약량처리에서 각각 61.3, 30, 99.1%의 살충활성을 나타내었으며, spearmint oil은 5와 1 μL/954 mL air의 약량처리에서도 각각 91.7%와 41.1%의 살충활성을 나타내었다. 또한 담배가루이에 대해서 muguet flower, peanut, spearmint oil은 10 μL/954 mL air의 약량처리에서 각각 62.2, 21.2, 100%의 살충활성을 나타내었으며, spearmint oil은 5와 1 μL/954 mL air의 약량에서도 각각 100, 61.3%의 높은 살충활성을 나타내어, 3종의 식물정유 중 spearmint oil이 가장 높은 혼증활성을 나타내었다.

Regnault-Roger *et al.* (1993)은 22종의 식물정유를 대상으로 강낭콩바구미 성충의 혼증독성을 시험한 결과 marjoram과 thyme oil이 높은 살충활성을 나타내었다고 보고하였으며, Raja *et al.* (2001)은 spearmint oil이 콩바구미의 일종인 (*Callosobruchus maculatus*) 성충에 대해서 높은 살충활성과 낮은 성충 우화율을 나타내어 cowpea를 보호할 수 있다는 등 저곡해충에 대한 식물정유의 혼증활성에 대해서는 연구보고가 많다 (Ahn *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2004). Tunc *et al.* (1998)은 시설하우스 해충으로 목화진딧물

(*Aphis gossypii*)과 점박이응애붙이(*Tetranychus cinnabarinus*)에 대해서 cumin, anise, oregano, eucalyptus oil 이 혼증활성이 높다고 보고하였으며, Lee *et al.* (1997)은 옥수수뿌리벌레(*Diabrotica virgifera*), 점박이응애(*Tetranychus urticae*), 집파리(*Musca domestica*)에 대해서 basil의 혼증독성을 보고하였다. 또한 Tunc *et al.* (1998)은 cumin oil과 anise oil이 저곡해충보다 시설 하우스 해충이 혼증독성에 더 민감하다고 보고하였는데, 이는 저곡해충인 거저살도둑거저리(*Tribolium castaneum*)는 81 μ L 약량에서 24시간 내에 치사하였으나 목화진딧물은 2 μ L의 적은 약량에서 치사함을 증명하였다. 이로서 식물정유는 저곡해충보다는 시설 하우스 해충의 방제제로서 개발 가능성이 크다고 할 수 있다. 국내의 연구 결과로 Ahn *et al.* (1998)은 car-

vacrol이 배추좀나방(*Plutella xylostella*)과 점박이응애 등 농업해충에 높은 살충활성을 보고하였고, Choi *et al.* (2003)은 53종의 식물정유를 대상으로 온실가루이의 알, 약충, 성충에 대한 혼증독성을 조사하였는데 bay, caraway seed, clove leaf, lemon eucalyptus, lime, pennyroyal, peppermint, rosewood, spearmint, tea tree oil이 활성이 높음을 보고하여 본 시험의 결과와 비슷한 경향을 나타내었다.

접촉독성

3종의 식물정유에 대한 온실가루이와 담배가루이 성충의 접촉독성은 시험 화합물 모두 살충효과가 30% 이하로 낮거나 없었다(Table 2). 따라서 시험에 사용된 식물정유는 접촉에 의한 살충효과가 거의 없는 것으로 나타났다.

Kim *et al.* (2003)은 권연벌레(*Lasioderma serricorne*)

Table 2. Contact toxicity of essential oils against adults of *T. vaporariorum* and *B. tabaci* at 48h after tomato leaf-dip application in 954 mL fumigation chamber

Essential oil	n ^{a)}	Conc. (ppm)	Mortality ^{b)} (mean \pm SD), %
<i>T. vaporariorum</i>			
Muguet flower	58	1,000	0.0 \pm 0.0 b
Peanut	60	1,000	21.6 \pm 4.5 a
Spearmint	62	1,000	21.1 \pm 7.2 a
<i>B. tabaci</i>			
Muguet flower	58	1,000	18.1 \pm 8.5 a
Peanut	40	1,000	10.0 \pm 0.0 a
Spearmint	41	1,000	26.8 \pm 2.5 a

^{a)} Number of insects tested. ^{b)} Means followed by the same letter are not significantly different at *P* = 0.05 by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991).

Table 3. Chemical composition of spearmint oil as determined by combined gas chromatography and mass spectrometry

Peak number ^{a)}	Compound	Mass spectral data ^{b)}	Retention time (min)	Relative (%)
1	Limonene	68, 93, 79, 136	9.37	16.1
2	γ -terpinene	93, 77, 136, 121	19.32	13.8
3	<i>p</i> -cymene	119, 91, 134	20.36	5.8
4	3-octanol	59, 55, 83, 41, 101	26.37	6.9
5	Carvone	82, 54, 93, 108	28.91	40.9
6	Unknown	-	-	16.4

^{a)} The peak numbers correspond to the numbers in Fig. 1.

^{b)} Major fragmentation ions.

Table 4. Fumigation toxicity of constituents of spearmint oil against adults of *T. vaporariorum* and *B. tabaci* at 48 h after filter paper application in 954 mL fumigation chamber

Compound	Mortality ^{a)} (mean \pm SD), %					
	Dose (μ L/mL air)					
	n ^{b)}	10.5 \times 10 ⁻³	n	5.3 \times 10 ⁻³	n	1.1 \times 10 ⁻³
<i>T. vaporariorum</i>						
Carvone	62	100.0 \pm 0.0 a	60	100.0 \pm 0.0 a	56	41.1 \pm 7.6 a
<i>p</i> -cymene	56	65.3 \pm 3.7 b		- ^{c)}		-
Limonene	62	33.2 \pm 4.5 c		-		-
3-octanol	61	26.2 \pm 1.8 c		-		-
γ -terpinene	55	100.0 \pm 0.0 a	58	10.4 \pm 4.9 b		-
<i>B. tabaci</i>						
Carvone	57	100.0 \pm 0.0 a		100.0 \pm 0.0 a		58.4 \pm 2.9 a
<i>p</i> -cymene	52	41.2 \pm 1.9 b		-		-
Limonene	59	18.4 \pm 4.7 b		-		-
3-octanol	63	17.6 \pm 2.3 b		-		-
γ -terpinene	59	88.5 \pm 5.2 a		26.7 \pm 1.5 b		-

^{a)} Means followed by the same letter are not significantly different at *P* = 0.05 by Tukey's studentized range test (SAS Institute, 1991).

^{b)} Number of insects tested. ^{c)} No test.

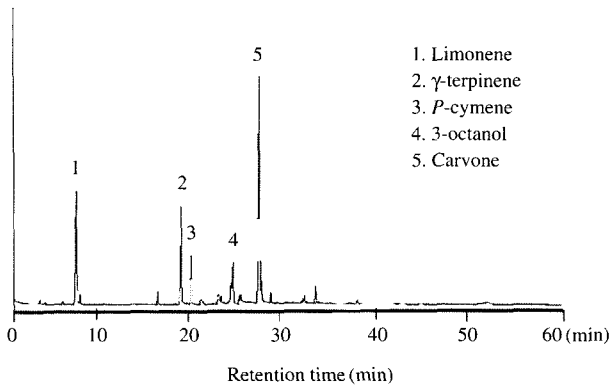


Fig. 1. Gas chromatogram of spearmint oil. DB-Wax capillary column (I.D. 0.25 mm, 30 m long, 0.25 μ m film thickness), temp., 50°C to 180°C, 4°C/min.

성충에 대해서 식물정유에 대한 접촉독성을 조사한 결과, cinnamon, horseradish, mustard oil은 처리 1일 후 100%의 살충활성을 나타내었으며 나머지 화합물 또한 80% 이상으로 접촉독성이 높다고 보고하였다. 그러나 본 실험의 결과에서와 같이 많은 논문에서 식물정유는 접촉독성이 없거나, 아주 경미한 것으로 보고된바 있다(Rice and Coats, 1994; Tiberi *et al.*, 1999; Keita *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2003).

화학분석

온실가루이와 담배가루이에 대해서 높은 훈증독성을 보였던 spearmint oil의 성분을 분석하기 위해 GC와 GC/MS를 이용하였다. Spearmint oil을 분석한 결과 limonene (16.1%), γ -terpinene (13.8%), p -cymene (5.8%), 3-octanol (6.9%), carvone (40.9%)이 주요 구성성분으로 나타났다(Fig. 1과 Table 3). 또한 spearmint oil의 주요성분의 훈증독성 검정 결과, 온실가루이에 대해서 carvone과 γ -terpinene은 10 mL/954 mL air의 약량에서 100%의 훈증독성을 나타내었으며, 담배가루이에 대해서도 동일한 약량에서 각각 100%와 88.5%의 높은 살충활성을 나타내어 이 두 화합물이 주요 성분임을 알 수 있었다(Table 4). Spearmint oil의 주요 구성성분인 carvone은 박테리아(Helander *et al.*, 1998)와 일부 진균(Smid *et al.*, 1995)의 생장을 저해하고, 곤충의 기피제(Lee *et al.*, 1997)와 저장감자와 꽃의 구근의 발아를 억제하는데 사용되고 있다(Sorce *et al.*, 1997). 앞으로의 과제는 시설하우스내에서 가루이 방제에 이용할 수 있도록 제형개발과 현장적용 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

사 사

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

Literature Cited

- Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265~267.
- Ahn, Y.J., S.B. Lee, H.S. Lee and G.H. Kim. 1998. Insecticidal and acaricidal activity of carvacrol and β -thujaplicine derived from *Thujopsis dolabrata* var. *hondai* Sawdust. *J. Chem. Ecol.* 24: 81~90.
- 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*. American Chemical Society, Washington, DC.
- Choi, G.M. 1990. Ecology and control of vegetable insect pests. NIAST. 224 pp.
- Choi, W.I., E.H. Lee, B.R. Choi, H.M. Park and Y.J. Ahn. 2003. Toxicity of plant essential oils to *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 96: 1479~1484.
- Desmarchelier, J.M. 1994. Grain protectant: trends and developments, pp. 722~728. In E. Highley, E.J. Wright, H.J. Banks and B.R. Champ [eds.], *Stored product protection*. CAB International, Wallingford, United Kingdom.
- Dittrich, V., S. Uk and G.H. Ernst. 1990. Chemical control and insecticide resistance of whiteflies, pp. 263~285. Intercept Ltd., Andover, United Kingdom.
- Hayes, W.J. and E.R. Laws. 1991. *Handbook of pesticide toxicology*, vol. 1. Academic, San Diego, CA.
- Helander, I.M., H.L. Alakomi, K. Latva-Kala, T. Mattila-Sandholm, I. Pol and E.J. Smid. 1998. Characterization of the action of selected essential oil components on gram-negative bacteria. *J. Agric. Food Chem.* 46: 3590~3595.
- Immaraju, J.A., T.D. Paine, J.A. Bethke, K.L. Robb and J.P. Newman. 1992. Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) resistance to insecticides in coastal California greenhouse. *J. Econ. Entomol.* 85: 9~14.
- Isman, M.B. 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Prot.* 19: 603~608.
- 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, S.I., C. Park, M.H. Ohh, H.C. Cho and Y.J. Ahn. 2003. Contact and fumigant activities of aromatic plant extracts and essential oils against *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *J. Stored Prod. Res.* 39: 11~19.
- Lawless, J. 1995. The illustrated encyclopaedia of essential oils, ELEMENT, shaftesbury (ALNAP Database Ref. ID: 8718)
- Lee, S., R. Tsao, C.J. 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, S.Y., J.S. Yoo, S.J. Moon, S.G. Lee, C.S. Kim, S.C. Shin and Kim. 2004. Fumigant and repellency effects of terpenes against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Korean J. Appl. Entomol.* 42: 249~255.

- Lindquist, R.K., A.J. Adams, F.R. Hall and I.H.H. Adams. 1990. Laboratory and greenhouse evaluations of Margosan-O against bifenthrin-resistant and -susceptible greenhouse whiteflies, *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). pp. 91-99. In Proceedings U.S. Department of Agriculture, Neem Workshop. USDA-ARS 86.
- Park, I.K., S.G. Lee, D.H. Choi, J.D. Park and Y.J. Ahn. 2003. Insecticidal activities of constituents identified in the essential oil from leaves of *Chamaecyparis obtusa* against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *J. Stored Prod. Res.* 39: 375-384.
- Raja, N., S. Albert, S. Ignacimuthu and S. Dorn. 2001. Effect of plant volatile oils in protecting stored cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walpers against *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) infestation. *J. Stored Prod. Res.* 37: 127-132.
- Regnault-Roger, C., A. Hamraoui, M. Holeman E. Theron and R. Pinel. 1993. Insecticidal effect of essential oils from mediterranean plants upon *Acanthoscelides obtectus* Say (Coleoptera: Bruchidae), a pest of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Chem. Ecol.* 19: 1233-1244.
- Rice, P.J. and J.R. Coats. 1994. Insecticidal properties of several monoterpenoids to house fly (Diptera: Muscidae), red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae), and southern maize rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol.* 87: 1172-1179.
- SAS Institute. 1991. SAS/STAT User's Guide: Statistics, version 6.04. SAS Institute, Cary, N.C., U.S.A.
- Smid, E.J., de Witte, Y., Gorris and L.G.M., 1995. Secondary plant metabolites as control agents of postharvest *Penicillium* rot on tulip bulbs. *Postharvest Biol. Technol.* 6: 303-312.
- Sorce, C., R. Lorenzi and P. Ranall. 1997. The effects of (S)-(+)-carvone treatments on seed potato tuber dormancy and sprouting. *Potato Res.* 40: 155-161.
- Tiberi, R.A., M. Niccoli, F. Curini, M. Epifano, 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.
- Tunc, I. and S. Sahinkaya. 1998. Sensitivity of two greenhouse pests to vapours of essential oils. *Entomol. Exp. Appl.* 86: 183-187.

(Received for publication 26 November 2004;
accepted 15 December 2004)