

아미리스 정유의 제초활성

윤미선¹ · 연보람¹ · 조해미¹ · 최정섭² · 김성문^{1*}

¹강원대학교 바이오자원환경학과, ²한국화학연구원 친환경신물질연구그룹

Herbicidal Activity of Essential Oil from *Amyris* (*Amyris balsamifera*)

Mi Sun Yun¹, Bo-Ram Yeon¹, Hae Me Cho¹, Jung Sup Choi² and Songmun Kim^{1*}

¹Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon 200-701 Korea

²Eco-friendly New Materials Research Group, Korea Research Institute of Chemical Technology,
Yuseong, Daejeon 305-600, Korea

ABSTRACT. The objective of this study was to know the herbicidal activity of the essential oil from amyris (*Amyris balsamifera*). In a seed bioassay experiment, the amyris essential oil inhibited the growth of rapeseed (*Brassica napus*) by fifty percent at 8.8 $\mu\text{g g}^{-1}$. And in a greenhouse experiment, sorghum, barnyard grass and Indian jointvetch, which was applied in above-ground parts, with the amyris essential oil at 4,000 $\mu\text{g ml}^{-1}$ showed visual injuries of 90, 70, and 70, respectively (0, no damage; 100, total damage). However, soil application of the essential oil did not show such herbicidal injuries. In a field experiment, foliar application of the amyris essential oil at 5% controlled effectively weeds such as barnyardgrass, shepherd's purse, and clover in 24 hours. Our results indicated that the amyris essential oil had herbicidal activity. To understand the composition of the amyris essential oil, the oil was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry with solid-phase micro-extraction apparatus. There were 15 organic chemicals in the oil and the major constituents were calarene, elemol, γ -eudesmol, curcumene, β -sesquiphellandrene, zingiberene, selina-3,7(11)-diene, 1,3-diisopropenyl-6-methyl-cyclohexene, β -bisabolene, and β -maaliene. Overall results suggest that the amyris essential oil had a herbicidal activity with fast, contact, and non-selective mechanism.

Key words: *Amyris balsamifera*, Essential oil, Herbicidal activity

서 론

친환경농업은 농업과 환경을 조화시켜 농업의 생산성을 지속가능하게 하는 농업의 한 형태로 농업생산의 경제성 확보, 환경보존 및 농산물의 안전성 확보를 위하여 많은 국가에서 시행하고 있으며, 유기농업 생산면적은 2,281만 헥타에 이르고 있다(Yussefi and Sohn, 2006). 우리나라에서도 친환경 농산물량이 2000년 35,407톤에서 2011년 1,852,241톤으로 52배 증가하였으며(National Agriculture Products Quality Management Service website <http://www.enviagro.go.kr>), 이러한 증가추세는 지속적으로 이루어질

것이 예상된다.

친환경농산물 생산에 허용된 물질인 친환경농자재는 인축과 자연에 해가 없으며 농작물에 영양공급, 병해충 억제 및 생육촉진 등에 이용되는 환경친화적인 물질을 총칭하며 우리나라에서는 국제식품규격위원회(CODEX) 허용 물질을 기본으로 하고 있다. CODEX에서는 “유기식품의 생산, 가공, 표시, 유통에 관한 CODEX 가이드라인”을 제시하고 유기농업 기본규약을 제정한 바 있는데, 이 지침은 잡초방제에 있어서 유기합성 제초제의 사용을 금지하고 있으며, 식물, 미생물 등의 유기물 또는 광물에서 유래한 자재만을 허용하고 있다.

친환경농업에서 작물 생산을 위해서는 병해충의 방제는 물론 잡초방제 역시 중요하다. 현재 우리나라의 친환경농업 실천농가에서는 화학농약의 사용을 최대한 자제하고 있으며 논농사의 경우 잡초방제를 위하여 물리적 방법(경운, 썩레질)과 생물학적 방법(우렁이, 잉어, 오리)이 사용

*Corresponding author; Songmun Kim

Tel: +82-033-250-6447, Fax: +82-33-250-6445

E-mail: perfume@kangwon.ac.kr

Received : November 30, 2012, Revised : December 5, 2012,

Accepted : December 12, 2012

되고 있으나(Lee et al., 2005), 발농사의 경우에는 물리적 방법(경운, 피복) 이외에 화학농약과 같은 방제효율을 갖는 방제법이 전무한 형편이다.

국내의 많은 연구자들이 잡초방제용 친환경농자재 개발에 노력하고 있으나 현재까지 실용화되고 있는 것은 없는 실정이다. 본 연구에서 저자들은 국내외로부터 수집, 구입된 식물정유를 잡초방제용 친환경농자재로 개발하려는 일련의 연구를 수행하면서 아미리스 식물(*Amyris balsamifera*)로부터 추출된 정유가 높은 제조활성을 나타내었기에 이를 보고하는 바이다.

재료 및 방법

정유 시료

제조활성을 검정하고자 (주)아로마하우스에서 아미리스(*Amyris balsamifera*)로부터 추출된 아미리스 오일을 구입하였다. 구입된 아미리스 오일의 순도는 100%이었다.

아미리스 정유의 제조효과

실내실험

모래 1 g 위에 5립의 유채 (*Brassica napus* L.) 종자가 치상되어 있는 24-well tissue culture testplate에 아미리스 정유의 stock solution(0.01% Tween 80 함유)을 첨가하여 0, 5, 10, 25, 50, 100 $\mu\text{g L}^{-1}$ 이 되게 제조한 후 각각의 well에 1 ml씩 첨가하였다. Testplate는 25°C, 습도 50%, 광도 250 mol/m²/s 조건의 식물생장상에 넣고 생장시켰다. 처리 5일 후 유채 종자 중 발아된 유묘의 생체중을 측정하여 GR₅₀ 값(식물생장을 50% 저해하는 약량)을 구하였다.

온실실험

아미리스 정유의 경엽처리 제조효과를 검정하기 위하여 온실조건에서 실험을 수행하였다. 표면적 350 cm²의 사각 플라스틱 포트에 원예용 상토((주)부농)를 충전한 다음 화본과잡초 4종(바랭이(*Digitaria sanguinalis*), 수수(*Sorghum bicolor*), 들피(*Echinochloa crus-galli*), 개밀(*Agropyron smithii*)), 광엽잡초 5종(까마중(*Solanum nigrum*), 자귀풀(*Aeschynomene indica*), 어저귀(*Abutilon theophrasti*), 도꼬마리(*Xanthium strumarium*), 메꽃(*Calystegia japonica*))을 파종한 후 온실조건(30±3°C, 14h/10h=Light/Dark)에서 14일 생육시킨 다음, 아미리스 정유를 CO₂ sprayer(R&D Sprayers Inc., Opelousas, U.S.A.)를 이용하여 2,000 및 4,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ 농도로 살포하였다. 아미리스 정유 처리 9일 후 제조활성 정도를 외형적인 증상 및 약효를 약효/약해 기준표에 의해 달관조사(0, 약효 전혀 없음; 100, 완전방제)하였다.

포장시험

2012년 11월 경상남도 경주시 소재 (주)경농 중앙연구소 부속농장에서 피(*Echinochloa crus-galli*), 냉이(*Capsella bursa-pastoris*), 토끼풀(*Trifolia repens*)이 다량 자연발생한 곳에 처리구(1 m × 1 m)를 각각 설정하였고, 감압 분무살포기를 이용하여 각각의 처리구에 1, 3, 5, 10% 수준으로 아미리스 정유를 경엽처리하였다. 아미리스 정유 처리 24 시간 후 처리구내 잡초의 외형적인 증상 및 약효를 약효/약해 기준표에 의해 달관 조사(0%, 약효 전혀 없음; 100%, 완전방제)하였다.

아미리스 정유성분의 기기분석

아미리스 정유의 화학성분은 polydimethylsiloxane(PDMS) fiber가 장착된 solid phase microextraction(SPME) 장치에 흡착시킨 다음, gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS)로 분석하였다. 수증기 증류장치를 이용하여 추출된 아미리스 정유 1 ml를 headspace glass vial(20 ml)에 가한 후, vial을 실리콘 septum으로 밀봉하고 SPME needle을 vial 내로 삽입하여 60°C에서 30분간 흡착시켰다. GC 분석조건은 50°C에서 5분간 유지하고, 분당 4°C씩 250°C까지 승온시킨 후 10분간 유지하였으며, carrier gas는 헬륨(He)이었으며 유속은 1 m min⁻¹이었다.

분석에 사용한 GC는 HP-5MS fused-silica capillary column (30 m × 0.32 mm, 0.25 m)이 장착되어 있는 Agilent 7890A이었으며, MS는 5975C MSD이었다. MS의 분석조건은 ionization voltage가 70 eV, 이온소스온도는 280°C이었으며 splitless mode이었다. GC와 MS의 분석조건은 Table 1에 나

Table 1. Analytical conditions of GC/MS for organic chemicals in the essential oil from amyris (*Amyris balsamifera*).

GC	Agilent 7890A
Column	HP-5MS (30 × 0.32 mm), 0.25 μm
Column flow	1 ml / min, He
Injection volumn	1 μL
Injecion mode	splitless (20:1)
Temperature	250°C
Oven	50°C (5 min) - 4°C/min - 250°C (10 min)
Interface temperature	280°C
MS	Agilent 5975C
Ion source	EL, 70 eV
Ion source temperature	280°C
Scan range	50-550 m/z
Solvent delay time	3 min

타내었으며, MS의 결과 성분분석은 Wiley 275와 NIST library의 mass spectrum data를 이용하여 확인하였다.

결과 및 고찰

실내실험에서 아미리스 정유에 처리된 유채 유식물의 생장이 50% 억제되는 GR_{50} 값은 $8.8 \mu\text{g g}^{-1}$ 이므로 매우 낮았다(Table 2). 아미리스 정유의 유채에 대한 GR_{50} 값은 우리나라에 서식하고 있는 491종 식물 중 GR_{50} 값이 비교적 낮았던 죽도리풀(*Asarum sieboldii*) 추출물의 GR_{50} 값($242 \mu\text{g g}^{-1}$), 가시박(*Sicyos angulatus*) 추출물의 GR_{50} 값($328 \mu\text{g g}^{-1}$), 두릅나무(*Aralia electa*) 추출물의 GR_{50} 값($362 \mu\text{g g}^{-1}$), 그리고 삼지구엽초(*Epimedium koreanum*) 추출물의 GR_{50} 값($381 \mu\text{g g}^{-1}$)보다도 낮았다(Kim, 2006). 아미리스 정유의 GR_{50} 값은 본 발명자들이 연구한 다른 식물 정유의 GR_{50} 값과 비교하여도 매우 낮은 것이었다: 티트리(tea tree, $279.0 \mu\text{g g}^{-1}$), 일랑일랑(ylang ylang, $294.6 \mu\text{g g}^{-1}$), 타임(thyme, $328.3 \mu\text{g g}^{-1}$), 샌달우드(sandalwood, $423.0 \mu\text{g g}^{-1}$), 버티버(vertiver, $446.5 \mu\text{g g}^{-1}$), 타겟(target, $479.8 \mu\text{g g}^{-1}$), 야로우(yarrow, $858.2 \mu\text{g g}^{-1}$)의 GR_{50} 값보다도 훨씬 낮았다. 본 연구의 결과는 아미리스 정유가 제초활성을 나타내며, 정유에는 제초활성물질이 함유되어 있다는 것을 시사하여 주고 있다.

아미리스 정유의 제초활성을 온실에서 검증하기 위한 전 단계 실험으로 바랭이를 대상으로 0, 1,250, 2,500, 5,000 μg



Fig. 1. Treatment of amyris essential oil to southern crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) controlled the above ground part of the weed in a greenhouse experiment. From left to right 0, 1,250, 2,500, and 5,000 $\mu\text{g ml}^{-1}$ of amyris essential oil.

ml^{-1} 약량을 경엽에 처리하였고 그 약효를 육안관찰하였다(Table 2). 그 결과 아미리스 정유 1,250 $\mu\text{g ml}^{-1}$ 약량 이상 처리된 바랭이는 완전고사된 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 그러나 이러한 아미리스 정유의 경엽처리 결과는 토양처리 구에서는 전혀 발견되지 않았는데(자료 미제시), 이와 같은 결과는 아미리스 정유가 토양에 강하게 흡착되어 식물체 내로 흡수·이행되지 못하였거나, 식물체내로 흡수되기 전 미생물에 의해 분해되었거나 혹은 흡수되기 전 높은 휘발성 때문에 식물체내로 흡수되지 못하였기 때문에 나타난 결과라 추론된다.

아미리스 정유의 기내실험과 전단계 온실실험 결과를 바탕으로 화분과잡초 4종과 광엽잡초 5종 잡초를 대상으로 온실실험을 수행하였다. 아미리스 정유 2,000 $\mu\text{g ml}^{-1}$ 처리구에서는 그 어떠한 제초효과도 발현되지 않았다(Table 3). 그러나 4,000 $\mu\text{g/ml}$ 처리구의 수수, 돌피, 자귀풀은 각각 90%, 70%, 70% 약효를 나타내었으며, 정유에 처리된 잎들은 모두 고사되는 증상(dessication)을 보였다. 아미리스 정유 4,000 $\mu\text{g L}^{-1}$ 는 개밀, 어저귀, 도꼬마리, 메꽃은 전혀 방제하지 못하였다. 본 연구의 결과 아미리스 정유가 몇몇 세엽잡초에 대해서는 높은 제초효과를 나타내었

Table 2. Herbicidal activity of amyris essential oil to southern crabgrass (*Digitaria sanguinalis*). Means are based on data from three replicates.

Treatment ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Efficacy (%)	Symptom
0	0	-
1,250	100	Dessicated
2,500	100	Dessicated
5,000	100	Dessicated

Table 3. Herbicidal activity of amyris essential oil with post-emergence treatment on several weed species in a greenhouse. The herbicidal activity was determined by visual injury 9 days after the application of the essential oil. Means are based on data from three replicates.

Concentration ($\mu\text{g ml}^{-1}$)	Herbicidal activity (%) ^x								
	SORBI ^y	ECHCG	AGRSM	DIGSA	SOLNI	AESIN	ABUTH	XANSI	CAGEH
2,000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,000	90	70	0	30	20	70	0	0	0

^x Herbicidal activity was determined 9 days after treatment by visual injury

^y Abbreviations; SORBI: *Sorghum bicolor*, ECHCG: *Echinochloa crus-galli*, AGRSM: *Agropyron smithii*, DIGSA: *Digitaria sanguinalis*, SOLNI: *Solanum nigrum*, AESIN: *Aeschynomene incida*, ABUTH: *Abutilon avicennae*, XANSI: *Xanthium strumarium*, CAGEH: *Calystegia japonica*

Table 4. Herbicidal activity of amyris essential oil in a field experiment. Means are based on data from three replicates. Herbicidal activity was determined 24 hours after application by visual injury.

Amount (%)	Herbicidal activity (%)		
	<i>Echinochloa crus-galli</i>	<i>Capsella burse-pastoris</i>	<i>Trifolium repens</i>
0	0	0	0
1	0	0	0
3	20	20	30
5	70	70	70
10	100	100	100

는데 이러한 결과는 아미리스 정유에 제초활성을 나타내는 유기화합물의 존재를 시사하는 것이라 판단되었다.

아미리스 정유의 제초활성이 포장상태에서는 발현될 수 있는지를 알기 위해서 2012년 11월 경상북도 경주시 소재 (주)경농연구소의 피, 냉이, 토끼풀이 다량 발생한 곳에서 아미리스 정유를 1, 3, 5 및 10% 감압분무기를 이용하여 잡초의 경엽에 약액이 충분히 묻도록 살포하였다. 그 결과 아미리스 정유의 제초효과는 3% 처리약량 이상에서 처리 24시간 후에 나타났다(Table 4). 아미리스 정유 3% 처리구에서 피, 냉이, 토끼풀에 대한 제초효과는 각각 20, 20, 30%로 나타났으며, 5% 처리구에서 잡초방제효과는 모두 70%로 나타났으며, 그리고 10% 처리구에서 잡초방제효과는 모두 100%로 나타났다(Fig. 2).

아미리스 정유에 처리된 잡초들은 대부분 잎이 타들어 가는 증상(burndown)을 보였는데 이러한 증상은 Bainard and Isman (2006), Singh et al. (2005), 그리고 Tworokski (2002)에 의하여 발표된 논문에서 언급된 바와 같이 접촉



Fig. 2. Herbicidal activity of amyris essential oil (10%) in a field experiment. Right, amyris essential oil treatment; left, control.

Table 5. Effect of amyris oil treatment on fresh weight of weeds in the treated sites. Means and standard errors are based on data from three replicated.

Amount (%)	Fresh weight of the above ground part* (g m ⁻¹)
0	78.7±12.1
1	72.0±13.6
3	52.0±14.7
5	52.6±16.0
10	32.6±11.6

*Fresh weights were measured 24 hours after the application of amyris oil

효과에 의한 전해질 누출 및 세포막 손상에 의한 것으로 추론된다. 아미리스 정유가 식물을 고사시키는 작용은 국내의 애기수영으로부터 분리된 천연제초활성물질 chrysophanic acid에 처리된 식물체에서도 동일하게 발견되었다고 보고된 바 있다(Jang et al., 2010).

아미리스 정유의 제초효과는 처리 6시간 후부터 발현되기 시작하여 24시간 후에는 확실하게 나타났는데 이러한 결과로부터 아미리스 정유의 제초효과는 속효성이라고 판단되었다.

아미리스 정유가 처리된 포장내의 잡초 지상부위와 지하부위를 수집하여 생체중을 측정하였다(Table 5). 아미리스 정유 처리 식물의 지하부위 생체중은 대조구 (0%) 식물의 지하부위 생체중과 비교하여 아무런 차이가 없었다. 이러한 결과는 아미리스 정유의 제초효과가 비이행성이라는 것을 시사하여 준다.

아미리스 정유 1, 3, 5 및 10% 처리구의 지상부 생체중은 대조구의 지상부 생체중과 비교하여 각각 91.5, 66.1, 66.8% 그리고 41.5%이었다. 본 연구의 결과는 아미리스 정유 3% 처리시에 잡초의 생육을 억제할 수 있다는 것을 나타낸다. 아미리스 정유 10% 처리구에서는 모든 잡초가 육안으로 고사된 것을 확인할 수 있었지만 생체중은 41.5%이었는데 이러한 결과는 비록 잡초가 고사되었지만 완전히 건조된 상태는 아니라는 것을 나타낸다. 본 실험의 결과는 처리 24시간 후의 잔초량 결과이기 때문에 처리 시간 경과에 따라 잔초량은 낮아질 것이 예상된다.

아미리스 정유에 함유된 유기화합물을 SPME/GC-MS로 분석한 결과 총 15종의 기지 화합물(94.76%)과 다수의 미지 화합물(5.24%)이 검출되었는데(Table 6), 아미리스 정유에 함유된 총 15종의 화합물들은 화학구조별로 분류하면 탄화수소류(hydrocarbons)가 12종, 알코올류(alcohols)가 3종이었다. 아미리스 정유에 함유된 주된 화합물은 calarene (27.24%), elemol(19.38%), γ -eudesmol(9.24%), curcumene

Table 6. Chemical composition of amyris essential oil. The volatile chemicals were analyzed by SPME/GC-MS.

RT (min)	Compound	Area (%)	CAS No. ^{x)}	Formula	Classification
26.13	Acoradiene	1.19	24048-44-0	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
26.39	1,3-Diisopropenyl-6-methyl-cyclohexene	4.18	999241-08-6	-	Hydrocarbon
27.09	β-Bisabolene	4.13	469-61-4	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
27.22	Curcumene	5.85	644-30-4	C ₁₅ H ₂₂	Hydrocarbon
27.59	Zingiberene	5.50	495-60-3	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
28.45	β-Sesquiphellandrene	5.63	20307-83-9	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
28.87	γ-Muuroloene	0.41	30021-74-0	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
29.43	Elemol	19.38	639-99-6	C ₁₅ H ₂₆ O	Alcohol
29.81	Nerolidol	1.70	7212-44-4	C ₁₅ H ₂₆ O	Alcohol
31.21	β-Maaliene	3.62	489-29-2	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
31.42	Calarene	27.24	17334-55-3	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
31.67	γ-Eudesmol	9.24	1209-71-8	C ₁₅ H ₂₆ O	Alcohol
32.01	α-Gurjunene	0.63	489-40-7	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
32.49	Selina-3,7(11)-diene	5.29	6813-21-4	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon
33.21	γ-Gurjunene	0.77	22567-17-5	C ₁₅ H ₂₄	Hydrocarbon

^xCAS No.: Chemical Abstracts Service Number.

(5.85%), β-sesquiphellandrene(5.63%), zingiberene(5.50%), selina-3,7(11)-diene(5.29%), 1,3-diisopropenyl-6-methyl-cyclohexene (4.18%), β-bisabolene(4.13%), β-maaliene (3.62%)이었다(Table 6). 카쥬팟 정유에 함유되어 있는 화합물 중 benzaldehyde처럼 (Lee et al., 2010) 제초활성이 알려져 있는 것은 전혀 없으며 향후 이 화합물들의 제초활성에 대한 연구가 추가로 진행되어야 한다고 판단된다.

잡초종자의 발아와 생장을 억제하는 활성을 가지고 있는 것으로 알려져 있는 식물 정유는 비교적 안전하다고 평가되고 있어서(Dudai et al., 1999) 친환경농업에서 잡초 방제를 위한 농업자재로 활용될 수 있을 것이라 기대된다(Tworski, 2002). 본 연구를 통해서 저자들은 아미리스 정유가 다양한 잡초를 방제할 수 있는 제초효과가 있으며 포장실험을 통해 실용성을 검증하였다고 판단된다. 아미리스 정유는 친환경농가에서 비농경지 발생 잡초의 경엽 처리 용도로 목초액(Kim et al., 2000)과 긴병꽃풀 정유(Kim et al., 2008)와 더불어 활용될 수 있을 것이라 판단된다. 또한 국내 경작자들이 일부 비선택성 제초제를 헛골 잡초방제를 위해 사용하는 것처럼 비산방지캡을 장착할 경우에는 농경지 헛골에서 발생하는 잡초를 비선택적으로 방제하는 용도로 활용될 수 있을 것이다.

요 약

본 연구의 목적은 아미리스 정유의 제초활성을 검증하는데 있다. 아미리스 정유의 기내 종자발아 제초활성 검정 결과 유체에 대한 GR₅₀값은 8.8 μg g⁻¹이었으며, 온실 제초활성 검정 결과 바랭이에 대한 완전고사 경엽처리 약량은 1,250 μg ml⁻¹이었다. 화분과잡초 4종과 광엽잡초 5종을 대상으로한 온실실험에서 4,000 μg ml⁻¹ 약량처리시 아미리스 정유는 수수, 들피, 자귀풀에 대해 각각 90%, 70% 그리고 70%의 약효를 나타내었으며, 아미리스 정유에 처리된 잎은 모두 건조되는 증상을 나타내었다. 포장 시험에서 아미리스 정유 5%의 피, 냉이, 토끼풀에 대한 제초효과는 모두 70%이었으며, 10%에서는 100%이었다. 아미리스 10% 정유의 제초활성은 처리후 6시간부터 발현되기 시작하였으며, 아미리스 정유 처리구 잡초의 지상부 위 생체중은 대조구와 비교하여 41.5%이었으나 지하부 위 생체중은 대조구와 비교하여 차이가 없었다. 아미리스 정유에는 총 15종의 화합물질이 검출되었으며 주된 화합물은 calarene(27.24%), elemol(19.38%), γ-eudesmol(9.24%), curcumene(5.85%), β-sesquiphellandrene(5.63%), zingiberene (5.50%), selina-3,7(11)-diene(5.29), 1,3-diisopropenyl-6-methyl-cyclohexene(4.18), β-bisabolene(4.13%), β-maaliene(3.62%)이

었다. 본 연구의 결과 아미리스 정유는 속효성, 비선택적, 비이행성 제초특성을 갖는 것으로 추론된다.

주요어: *Amyris balsamifera*, 정유, 제조활성

Acknowledgement

This study was financially supported by the Rural Development Administration, Republic of Korea (PJ006820 1002).

References

- Bainard, L.D. and Isman, M.B. 2006. Phytotoxicity of clove oil and its primary constituent eugenol and the role of leaf epicuticular wax in the susceptibility to these essential oils. *Weed Sci.* 54(5):833-837.
- Dudai, N., Poljakoff-Mayber, A., Mayer, A.M., Putievsky, E. and Lerner, H.R. 1999. Essential oils as allelochemicals and their potential use as bioherbicides. *J. Chem. Ecol.* 25:1079-1089.
- Jang, H.W., Seo, B.R., Hwang, H.J., Kim, J.D., Kim, J.S., Kim, S., Chun, J.C. and Choi, J.S. 2010. Herbicidal activity of natural product chrysophanic acid. *Korean J. Weed Sci.* 30(2):143-152. (In Korean)
- Kim, S. 2006. Search for Korean native plants with herbicidal composition. *Korean J. Weed Sci.* 26(3):225-245. (In Korean)
- Kim, S., Kim, H.Y., Hwang, K.H. and Chun, I.J. 2008. Herbicidal activity of essential oil from *Glenchoma hederacea*. *Korean J. Weed Sci.* 28(2):152-160. (In Korean)
- Kim, S., Kim, Y.H., Kim, J.S., Ahn, M.S., Heo, S.J., Hur, J.H. and Han, D.S. 2000. Herbicidal activity of wood vinegar from *Quercus mongolica* Fisch. *Korean J. Pestic. Sci.* 4(3):82-88. (In Korean)
- Lee, S.E., Yun, M.S., Yeon, B.R., Choi, J.S., Cho, N.K., Hwang, K.H., Wang, H.Y. and Kim, S. 2010. Herbicidal activity of benzaldehyde in Cajuput (*Melaleuca cajuputi*) essential oil. *Korean J. Weed Sci.* 30(3):191-198. (In Korean)
- Lee, S.G., Lee, Y.H., Kim, J.S., Lee, B.M., Kim, M.J., Shin, J.H., Kim, H.M. and Choi, D.H. 2005. Insect pests occurrence and control in organic and conventional rice paddy field. *Korean J. Organic Agric.* 13(3):301-314. (In Korean)
- Singh, H.P., Batish, D.R., Setia, N. and Kohli, R.K. 2005. Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. *Annual Appl. Biol.* 146(1): 89-94.
- Tworowski, T. 2002. Herbicide effects of essential oils. *Weed Sci.* 50:425-431.
- Yussefi, M. and Sohn, S.M. 2006. World wide organic agriculture and market development. *Food Sci. Ind.* 39(3):52-72.