

천연정유 Cajuput (*Melaleuca cajuputi*) 유래 Benzaldehyde의 살초활성

이사은¹, 윤미선¹, 연보람¹, 최정섭², 조남규³, 황기환³,王海英⁴, 김성문^{1,4*}

Herbicidal Activity of Benzaldehyde in Cajuput (*Melaleuca cajuputi*) Essential Oil

Sa-Eun Lee¹, Mi-Sun Yun¹, Bo-Ram Yeon¹, Jung-Sup Choi², Nam-Kyu Cho³
Ki-Hwan Hwang³, Hai-Ying Wang⁴ and Songmun Kim^{1,4*}

ABSTRACT The objective of this study was to find herbicidal compounds from seven different plant essential oils such as amyris (*Amyris balsamifera*), cajuput (*Melaleuca cajuputi*), geranium (*Pelargonium graveolens*), lavender (*Lavendula* spp.), mandarin (*Citrus reticulata*), pine (*Pinus* spp.) and rosemary (*Rosmarinus officinale*), and determine their herbicidal activities. The *in vitro* herbicidal activity of cajuput essential oil was the highest among six essential oils (GR₅₀ value, 425 µg g⁻¹) and major chemical components in cajuput essential oil were eucalyptol (37.2%), α-terpineol (11.6%), benzaldehyde (5.2%), linalool (4.1%), α-pinene (2.5%) and β-pinene (2.4%), and their GR₅₀ values were 2,731, 500, 50, 372, 4,363, and 4,671 µg g⁻¹, respectively. Soil application of cajuput essential oil and benzaldehyde did not show any herbicidal activity at 80 kg ha⁻¹. When cajuput essential oil was applied to foliar at 80 kg ha⁻¹, narrow-leaved plants such as sorghum (*Sorghum bicolor*), barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), and southern crabgrass (*Digitaria ciliaris*) were killed 100%, however, broad-leaved plants indian jointvetch (*Aeschynomene indica*), velvet leaf (*Abutilon theophrasti*), cocklebur (*Xanthium strumarium*), Japanese morningglory (*Calystegia japonica*) were not killed, indicating the cajuput essential oil was effective to control narrow-leaved plants. Herbicidal activities of benzaldehyde at 80 kg ha⁻¹, to those plants were 20, 60 and 95%,

¹ 강원대학교 바이오자원환경학과, 200-701 강원도 춘천시 강원대학길 1(Department of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea).

² 한국화학연구원 산업바이오화학연구센터, 305-600 대전광역시 유성구 신성로 19 유성우체국 사서함 107(Chemical Biotechnology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, P.O. Box 107, Yuseong, Daejeon 305-600, Korea).

³ 목우연구소, 305-333 대전광역시 유성구 어은동 52 한국생명공학연구원 바이오벤처센터 311호(Moghu Research Center Ltd., BVC 311, KRIBB, Daejeon 305-333, Korea).

⁴ 동북임업대학, 중화인민공화국 흑룡강성 하얼빈시(College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China).

* 연락저자(Corresponding author) : Phone) +82-33-250-6447, Fax) +82-33-241-6640, E-mail) perfume@kangwon.ac.kr

(Received August 16, 2010; Examined September 15, 2010; Accepted September 20, 2010)

respectively. Overall data showed that the herbicidal activity of cajuput essential oil was in part due to benzaldehyde.

Key words: benzaldehyde; cajuput; essential oil; herbicidal compounds; *Melaleuca cajuputi*.

서 언

신규 제초제 개발에 필요한 모화합물(mother compounds)은 기개발된 제초제의 화학구조(me-too), 식물 세포내 대사 관련 생화학물질의 화학구조(biorational design), 그리고 천연물 유래 제초활성물질의 화학구조(생화학 제초제, bioherbicide)로부터 얻을 수 있다(Benner 1993; Duke 등 2000; Pillmoor 등 1993). 기개발 제초제의 화학구조를 바탕으로 새로운 제초제를 개발하는 방법은 많은 다른 개발자와의 치열한 개발경쟁과 막대한 개발비용이 투자되어야 함에도 불구하고 현재까지는 가장 성공확률이 높다. 그러나 식물 대사 관련 생화학물질의 화학구조를 바탕으로 새로운 제초제를 개발하는 방법은 다양한 IT 기기의 개발로 그 가능성은 매우 높아지고는 있지만 현재까지 개발에 성공한 예가 없어 성공확률은 매우 낮다. 천연물 유래 제초활성물질의 화학구조를 바탕으로 새로운 제초제를 개발하는 방법은 비록 천연물 그 자체의 살초활성이 낮다는 단점이 있고 현재까지 단지 몇몇 성공사례만이 알려져 있음에도 불구하고 다양한 모화합물을 제공받을 수 있다는 장점이 있어서 많은 개발자들로부터 주목을 받고 있다.

생화학 제초제는 천연에 존재하는 천연물(동물·식물·미생물)로부터 물리적, 화학적 또는 생화학적 방법으로 추출·분리된 제초활성물질을 상용화한 것으로, 천연으로부터 유래되었기 때문에 비교적 안전한 것으로 인식되어 있으며, 유기합성 제초제의 단점인 환경오염 문제와 인축독성 문제를 보완할 수 있을 것이라 판단된다(Duke 등 2000). 많은 연구자들의 노력에도 불구하고 생화학 제초제의 개발은 매우 어려운데 그 이유로는 생화학 제초제의 효능이 기존 유기합성 제초제의 효능과 비교하여 매우 낮고, 그리고 이의 원료가 되는 천연물을 대량 확보하는 것이 쉽지 않다는 것을 들 수 있다.

식물 유래의 정유(essential oils)는 많은 개발자로부터 생화학 제초제 개발을 위한 좋은 재료로 각광을 받고 있다. 정유는 지구상의 수많은 식물의 잎, 줄기, 뿌리, 꽃, 열매로부터 얻어지며 다양한 화합물을 함유하고 있는데(Hüsniü Can Başer와 Demirci 2007), 이에 함유된 화합물로는 모노테르페노이드(mono-terpenoids), 디테르페노이드(di-terpenoids), 환상테르페노이드(cyclic-terpenoids), 페닐프로판노이드(phenylpropanoids), 에스테르(esters), 락톤(lactones), 프탈라이드(phthalides), 질소/황 함유 화합물, 이소치오시아네이트(isothiocyanates) 등을 들 수 있다. 정유에 함유된 화합물 중에는 살초활성을 나타내는 성분들이 존재하는데(Singh 등 2005), 현재까지 밝혀진 가장 좋은 예로는 1,4-cineole(Dyan과 Duke 2009)과 leptospermone(Mitchell 등 2001)을 들 수 있으며, 이들은 제초제 개발을 위한 선도 화합물(lead compounds)로 활용된 바가 있다.

우리나라에서는 생화학 제초제 개발을 목적으로 천연 정유의 살초활성에 대한 연구가 진행되었으며 김 등(2008)은 국내 자생식물 긴병꽃풀(*Glechoma hederacea*) 정유(10%)를 20kg a.i. ha⁻¹ 처리하였을 때 물피(*Echinochloa crus-galli*), 바랭이(*Digitaria ciliaris*), 금강아지풀(*Setaris glauca*), 유흥초(*Quamoclit pennata*), 어저귀(*Aubtilon theophrasti*), 자귀풀(*Aeschynomene indica*), 도꼬마리(*Xanthium strumarium*)에 대하여 7 이상의 약효를 관찰하였고 (0 : 무방제, 10 : 완전방제), 이러한 결과를 바탕으로 긴병꽃풀 정유가 친환경 잡초방제 대체제로 활용될 수 있을 것이라 제안한 바 있다. 이외에도 천연 정유의 제초활성에 관한 연구는 많이 이루어지고 있다(김 2008; 박과 김 2008; 박 등 2007; 장 등 2010; 최 등 2008a; 최 등 2008b; 최 등 2009). 본 연구의 목적은 정유식물에 함유되어 있는 살초활성물질을 탐색하여 제초제 개발을 위한 모화합물을 발굴하는데 있다.

재료 및 방법

정유시료

살초활성물질을 탐색하고자 실험에 사용된 7종 식물- amyris(*Amyris balsamifera*), cajuput(*Melaleuca cajuputi*), geranium(*Pelargonium graveolens*), lavender(*Lavandula* spp.), mandarin(*Citrus reticulata*), pine(*Pinus* spp.), rosemary(*Rosmarinus officinale*)로부터 추출된 정유는 (주)아로마하우스(서울, 대한민국)로부터 구입하였다.

정유의 *in vitro* 살초효과

멸균된 agar 용액(12g L^{-1})에 정유 7종의 stock solution(0.01% polysorbate 80 함유)을 첨가하여 0, 500, 1,250, 2,500, 3,750 및 $5,000\mu\text{g L}^{-1}$ 이 되게 제조한 후, 24-well tissue culture testplate cell에 각각 1mL씩 첨가하고 실온조건의 clean bench에서 1시간 고정시켰다.

각각의 testplate cell에 70% ethanol로 1분, 2% NaOCl로 10분간 멸균시킨 유채(*Brassica napus*) 종자 5립을 치상하였다. Testplate는 25°C , 습도 50%, 광도 $250\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건의 식물생장상에 넣고 생장시켰다. 처리 5일 후 유채 종자 중 발아된 유묘의 생체중을 측정하여 GR_{50} 값(식물생장을 50% 저해하는 약량)을 구하였다(최 등 2008c).

Cajuput 정유 함유 화합물의 *in vitro* 살초효과

정유 7종 중 살초력이 가장 높았던 cajuput 정유에 고함유된 eucalyptol, α -terpineol, benzaldehyde, linalool, α -pinene, β -pinene의 stock solution($5,000\mu\text{g L}^{-1}$)을 ‘정유의 *in vitro* 살초효과’ 실험에서 기술된 것과 같이 처리하였고, 처리 5일후 유채 유식물의 생체중을 측정하여 GR_{50} 값을 구하였다.

Cajuput 정유와 benzaldehyde의 온실내 토양 및 경엽처리 살초효과

온실조건에서 cajuput 정유와 benzaldehyde의 살초효과 검정은 표면적 350cm^2 의 사각 플라스틱 포트에 원예용 상토[(주)부농]를 충전한 다음 화분과

잡초 4종[수수(*Sorghum bicolor*), 들피(*Echinochloa crus-galli*), 개밀(*Agropyron smithii*), 바랭이(*Digitaria ciliaris*)]과 광엽잡초 4종[자귀풀(*Aeschynomene indica*), 어저귀(*Abutilon theophrasti*), 도꼬마리(*Xanthium strumarium*), 메꽃(*Calystegia japonica*)]을 파종하여 온실조건(25°C , 광/암 = 14/10h)에서 관리하였다. 파종 1일(토양처리)과 8일(경엽처리) 후에 cajuput과 benzaldehyde를 5, 10, 20, 40 및 80kg ha^{-1} 약량이 되도록 처리하였다. 토양처리는 약제처리 14일, 경엽처리는 7일 후에 살초활성 정도를 외형적인 증상 및 약효를 약해 기준표에 의해 달관 조사(0%, 약효 전혀 없음; 100%, 완전방제)하였다(조 1998).

Cajuput 정유 성분분석

실험에 사용된 정유 7종 중 살초활성이 가장 높았던 cajuput 정유에 함유된 휘발성 유기화합물을 분석하기 위하여 SPME장치가 장착된 gas chromatography-mass spectrometry(GC-MS)를 이용하여 분석을 수행하였다. 시료의 휘발성 유기화합물 분석은 SPME법을 이용하였다. 정유 1mL를 20mL-vial에 넣은 후 실리콘 septum으로 밀봉한 다음 polydimethylsiloxane fiber가 장착된 solid phase microextraction 장치에 흡착시킨 다음 GC-MS 분석을 수행하였다. 사용된 GC는 HP-5MS fused-silica capillary column($30\text{m}\times 0.32\text{mm}$, $0.25\mu\text{m}$)이 장착되어 있는 Agilent 7890A이었다. GC 분석조건은 50°C 에서 5분간 유지하고, 분당 4°C 씩 250°C 까지 승온시킨 후 10분간 유지하였다. Carrier gas는 헬륨(He)이었으며 유속은 1mL min^{-1} 이었다. 화학성분 구조동정을 위한 MS는 Agilent 7890 GC에 연결된 5975C MSD를 이용하였다. MS의 분석조건은 ionization voltage가 70eV, 이온소스온도는 280°C 이었으며 splitless mode이었다. 화학성분은 GC-MS의 mass spectrum을 토대로 Wiley 275 Library를 사용하여 비교 동정하였다.

결과 및 고찰

7종 식물정유의 살초력을 조사하고자 유채를 대상

Table 1. Growth inhibition of rapeseed (*Brassica napus* L.) seedlings by seven different essential oils from plants.

Essential oils	GR ₅₀ value (µg g ⁻¹) ¹⁾
amyris (<i>Amyris balsamifera</i>)	> 5,000
cajuput (<i>Melaleuca cajuputi</i>)	425
geranium (<i>Pelargonium graveolens</i>)	817
lavender (<i>Lavandula</i> spp.)	1,710
mandarin (<i>Citrus reticulata</i>)	> 5,000
rosemary (<i>Rosmarium officinale</i>)	1,978
pine (<i>Pinus</i> spp.)	3,353

¹⁾The GR₅₀ value is a concentration to inhibit the growth of rapeseed seedlings by fifty percent. The herbicidal activity was determined seven days after treatment. Means are based on data from three replicates.

으로 seed bioassay를 수행하였다. 고형 agar medium에 amyris, cajuput, geranium, lavender, mandarin, pine 및 rosemary 정유를 처리하고 유채종자를 치상하여 살초력을 검정한 결과, cajuput 정유의 GR₅₀ 값이 425µg g⁻¹으로 가장 살초력이 높았다(표 1). Cajuput 정유 다음으로 살초력이 뛰어났던 것은 geranium 정유로 GR₅₀ 값은 817µg g⁻¹이었으며, lavender와 rosemary 정유의 GR₅₀ 값은 각각 1,710과 1,978µg g⁻¹이었다. 그리고 amyris, pine, mandarin 정유의 GR₅₀ 값은 > 3,000µg g⁻¹으로 살초력이 거의 없었다.

Cajuput 정유의 유체에 대한 살초력(GR₅₀ 값)은 국내 자생식물 중 살초활성 식물로 알려진 죽도리풀(*Asarum sieboldii*, 242µg g⁻¹), 가시박(*Sicyos angulatus*, 328µg g⁻¹), 두릅나무(*Aralia elata*, 362µg g⁻¹) 및 삼지구엽초(*Epimedium koreanum*, 381µg g⁻¹)의 살초력보다는 낮았으나, 애기수영(*Rumex acetosella*, 935µg g⁻¹)과 할미꽃(*Pulsatilla koreana*, 1,879µg g⁻¹)의 살초력보다는 높았다(김 2006). 이러한 살초활성 식물 중 cajuput 정유의 GR₅₀ 값보다 낮은 GR₅₀ 값을 나타내었던 죽도리풀로부터는 elemicin(김 등 2005), 삼지구엽초로부터는 methyl-*p*-hydroxybenzoate(임 등 2007)이 분리되었으며, cajuput 정유의 GR₅₀ 값보다 높은 GR₅₀ 값을 나타내

었던 애기수영으로부터는 chrysophanic acid(김 등 2003), 할미꽃으로부터는 5,6,7-trimethoxycoumarin(최 등 2008c)이 각각 분리·동정된 바가 있다. 국내 자생식물로부터 살초활성물질을 분리하였던 저자들은 모두 식물기원의 살초활성물질들이 향후 새로운 제초제 개발의 선도 화합물로 활용될 수 있을 것이라 제안한 바 있다.

새로운 제초제 개발에 활용할 수 있는 생리활성물질은 다양한 식물의 정유로부터도 얻을 수 있다는 사실은 오래 전부터 제기되었다(Duke 1992; Pillmoor 등 1993; Vyvyan 2002). 특히 *Laurus nobilis*, *Salvia* spp., *Eucalyptus* spp. *Xanthoxylum rhetsa*와 *Artemisia* spp.와 같은 정유식물로부터 얻은 monoterpene인 1,4-cineole은 여러 식물종의 생장을 억제하는 것으로 보고되었고 또 제초제 cinmethylin의 개발에 활용된 바 있다(Dayan과 Duke 2009). 이러한 예 이외에도 식물정유의 살초효과에 대한 연구결과는 많은 연구자들에 의해 보고된 바 있는데(Boyd와 Brennan 2006; Mao 등 2004; Tworski 2002), 최 등(2008a)은 anise (*Pimpinella anisum*), clove (*Syzygium aromaticum*), peppermint (*Mentha piperita*), pine (*Pinus* spp.), rosemary (*Rosmarinus officinalis*), thyme (*Thymus vulgaris*) 및 wintergreen (*Gaultheria fragrantissima*) 정유를 8배 희석처리 시 80% 수준의 살초효과가 있다는 것을 보고한 바 있다. 이러한 결과들은 식물정유가 살초활성이 있다는 것을 나타내며, 이에 함유되어 있는 살초활성물질은 향후 제초제의 개발에 유용하게 활용될 수 있다는 것을 시사하여 준다.

Cajuput 정유는 잎을 steam distillation 방법으로 추출한 것으로, 진통, 향미생물, 향신경통, 멀근, 발한, 구풍, 거담, 해열, 살충 및 강장 효과가 있는 것으로 알려져 있어서 민간에서는 피부치료, 순환기 및 근육통증 치료, 호흡기질환 치료, 면역강화에 사용되고 있으나(Lewless 1995) 본 연구에서 저자들이 밝힌 바와 같은 살초효과에 대해서는 보고된 바가 없다.

표 1의 결과를 바탕으로 cajuput에 함유된 생리활성물질을 분석하였다. 그 결과 cajuput 정유에는 총 52개의 화합물이 검출되었다(표 2). 피크면적비로 산출하여 검출된 화합물 중 eucalyptol이 37.2%로 가장

Table 2. Chemical composition of the essential oil from cajuput (*Melaleuca cajuputi*).

Retention time (min)	Compounds ¹⁾	Content (%)
1.44	Acetone	0.10
1.75	Acetic acid	0.23
7.88	α -Thujene	0.19
8.10	α -Pinene	2.50
9.35	Benzaldehyde	5.22
9.66	β -pinene	2.44
10.29	β -myrcene	1.64
10.70	Sabinene	0.28
11.17	α -Terpinene	0.38
11.76	Eucalyptol	37.17
12.33	Cis ocimene	0.27
12.65	γ -Terpinene	0.99
13.15	Linalool oxide	0.33
13.63	Terpinolene	0.87
13.79	o-Allyltoluene	0.29
14.01	Methyl benzoate	1.20
14.24	Linalool	4.09
14.90	Benzeneethanol	1.69
15.80	p-Menthanone	0.25
16.10	α -isomenthone	0.38
16.23	Benzyl acetate	0.39
16.63	4-Terpineol	1.77
17.22	α -Terpineol	11.6
18.22	(R)-(+)- β -Citronellol	0.99
18.79	Linalyl acetate	1.93
19.39	Citronellyl formate	1.08
20.16	Geranyl formate	0.29
21.51	2,6-Dimethyl-2,6-octadiene	0.17
21.99	Ylangene	0.52
22.13	Copaene	0.45
22.33	Geranyl acetate	0.76
22.57	β -Elemene	0.22
23.29	β -caryophyllene	2.29
23.63	Allo-Aromadendrene	0.11
23.74	α -Guaiene	0.14
23.91	Seychellene	0.98
24.19	α -Caryophyllene	1.86
24.74	γ -Muurolene	0.77
24.83	Muurolene	0.69
25.05	β -Selinene	1.92
25.26	α -Selinene	2.04
25.48	α -Gurgujene	0.62
25.94	Calamenene	0.51
26.22	γ -Selinene	0.20
26.51	α -agarofuran	0.45
26.73	γ -Elemene	0.28
27.41	Caryophyllene oxide	0.99
27.78	Guaiol	0.36
28.04	2-Methylbicyclo[3.3.1]nonane	0.19
29.15	α -Eudesmol	0.52
29.30	Patchouli alcohol	1.90
29.61	α -Santalol	0.85

¹⁾The essential oil was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry.

많았으며, α -terpineol(11.6%), benzaldehyde(5.2%), linalool(4.1%), α -pinene(2.5%), β -pinene(2.4%)이 주된 화합물로 나타났다.

Cajuput 정유 중에서 다량 함유된 화합물들을 대상으로 유체에 대한 살초력을 검정한 결과는 표 3과 같다. 유체에 대한 살초활성이 가장 높았던 것은 benzaldehyde로 GR₅₀ 값은 50 μ g g⁻¹이었고, linalool과 α -terpineol의 GR₅₀ 값은 각각 372와 500 μ g g⁻¹이었다. 그리고 1,8-cineole로 그 살초활성이 잘 알려진 eucalyptol의 GR₅₀ 값은 2,731 μ g g⁻¹이었으며, 또 다른 살초 활성물질들인 α -pinene과 β -pinene의 GR₅₀ 값은 각각 4,363과 4,671 μ g g⁻¹로 살초활성이 매우 낮았다.

Benzaldehyde는 benzene ring에 aldehyde 관능기가 결합된 간단한 구조의 유기화합물로 bitter almond oil의 주요 성분이지만 그 살초효과에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. Linalool은 쇠비름(*Portulaca oleraceae*)과 쑥(*Artemisia asiatica*)에 함유된 살초활성물질로 추정되었으나(Chun과 Han 1989) 현재까지 이에 대한 살초활성에 대해서는 규명된 바가 없는 실정이다. α -Pinene 역시 냉이(*Capsella bursa-pastoris*)와 쑥에 함유되어 있는 살초활성물질로 알려져 있지만(Chun과 Han 1989), 산업적으로는 frontalinal(1,5-dimethyl-6,8-dioxabicyclo[3.2.1]octane)과의 합제로 spruce beetle(*Dendroctonus rufipennis*)을 유인하는 유인제 (aggregation pheromone)로 활용되고 있다. 1,4-cineole은 다양한 광엽잡초와 화분과잡초를 방제하는 제초제인 cinmethylin으로 개발된 바가 있다(김 등 2001). 그러나 cajuput에 함유되어 있는 생리활성물질들은 실제로 천연물 제초제로 활용되거나 또는 제초제 개발을 위한 선도화합물로 사용되고 있지는 않다.

Cajuput 정유의 유체에 대한 GR₅₀ 값은 425 μ g g⁻¹이었던 반면, 이에 함유되어 있는 생리활성물질 중 7종의 GR₅₀ 값은 50~4,671 μ g g⁻¹이었다. 이러한 결과는 cajuput 정유가 나타내는 살초활성은 단일물질이 아닌 다양한 생리활성물질들이 복합적으로 만들어내는 것을 시사하여 준다.

Cajuput 정유와 이에 함유되어 있는 휘발성 유기화합물 중 가장 살초력이 높았던 benzaldehyde를 토양

Table 3. Herbicidal activity of bioactive components from cajuput essential oil.

Compounds	GR ₅₀ value ($\mu\text{g g}^{-1}$) ¹⁾
Benzaldehyde	50
Eucalytol	2,731
Linalool	372
α -Pinene	4,363
β -Pinene	4,671
α -Terpineol	500

¹⁾The herbicidal activity was determined seven days after treatment. Means are based on data from three replicates.

과 경엽에 처리한 후 살초효과를 검정한 결과, 토양처리하는 cajuput 정유와 benzaldehyde 모두 초종 및 처리농도에 관계없이 살초활성이 전혀 나타나지 않았다(자료미제시).

본 연구의 결과 cajuput 정유와 benzaldehyde를 경엽처리시 약량-농도 의존적 살초효과가 나타났는데 살초효과는 거의 80kg ha^{-1} 수준에서만 나타났다(표 4). Cajuput 정유 처리(80kg ha^{-1})로 화분과잡초인 수수, 돌피, 개밀, 바랭이는 각각 100, 100, 20, 100% 고사되었으나, 광엽잡초인 자귀풀, 어저귀, 도꼬마리

리, 메꽃은 거의 약효가 나타나지 않았다. 그리고 benzaldehyde 처리(80kg ha^{-1})로 화분과잡초인 수수, 돌피, 개밀, 바랭이는 각각 20, 60, 20, 95% 고사되었으나, 광엽잡초인 자귀풀, 어저귀, 도꼬마리, 메꽃은 각각 40, 10, 10, 10% 고사되는데 그쳤다. 이러한 cajuput 정유와 benzaldehyde의 살초효과는 20kg ha^{-1} 이하의 약량 처리구에서는 거의 나타나지 않았다.

Cajuput 정유와 benzaldehyde에 처리되어 살초효과나 나타난 잡초에서는 처리 1일후부터 잎이 타는 듯한 화염상(burndown) 증상이 관찰되었는데, 이는 cajuput 정유와 benzaldehyde의 살초효과가 매우 속효적, 접촉형, 비이행성이라는 것을 나타낸다. 이와 같은 살초기작은 천연제초활성물질인 chrysophanic acid에 처리된 식물체에서도 발견된 바가 있다(장 등 2010).

Cajuput 정유는 benzaldehyde와 비교하여 높은 살초력을 보였다(표 4). Cajuput 정유 80kg ha^{-1} 처리는 수수, 피, 바랭이를 100% 방제하였으나 동일약량의 benzaldehyde 처리는 각각 20, 60, 95% 방제하는데 그쳤다. 이와 같은 결과는 cajuput 정유의 살초력이 단지 benzaldehyde에 의해서만 발현되는 것이 아니라는 것을 나타내며, cajuput 정유에는 benzaldehyde

Table 4. Herbicidal activities of cajuput essential oil and benzaldehyde with early post-emergence treatment on eight weed species in a greenhouse. Herbicidal activity was determined 14 days after treatment by visual injury.

Treatment	Rate (kg ha^{-1})	Herbicidal activity (%) ¹⁾							
		SORBI ²⁾	ECHCG	AGRSM	DIGSA	AESIN	ABUTH	XANSI	CAGEH
Cajuput essential oil	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	10	0	0	20	0	0	0	0
	40	40	20	10	60	0	0	0	0
	80	100	100	20	100	10	0	20	0
Benzaldehyde	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	20	10	0	0	10	0	0	0	0
	40	10	0	0	10	0	0	0	0
	80	20	60	20	95	40	10	10	10

¹⁾Herbicidal activity was determined 14 days after treatment by visual injury.

²⁾SORBI : *Sorghum bicolor*, ECHCG : *Echinochloa crus-galli*, AGRSM : *Agropyron smithii*, DIGSA : *Digitaris sanguinalis*, AESIN : *Aeschynomeme indica*, ABUTH : *Abutilon avicennae*, XANSI : *Xanthium strumarium*, CAGEH : *Calystegia japonica*.

이외에도 52종의 유기화합물이 함유되어 있다는 사실(표 2)과 linalool과 α -terpineol도 살초력이 있다는 사실(표 3)로부터 쉽게 이해될 수 있다.

본 연구를 통해 식물정유 또는 이에 함유된 휘발성 유기화합물을 잡초방제에 활용하고자 연구를 수행하였지만 이들의 화학적 성질로 인한 높은 약량처리 문제와 선택성 문제가 노출되어 현재 수준에서 천연 제초제로의 활용은 어려울 것이라 판단된다. 그러나 처리시기를 통한 처리약량 저감, 유효성분의 물리화학적 성질을 고려한 제형개발을 통한 침투이행성 증가와 같은 문제점을 해결할 수 있다면(장 등 2010) 식물정유 또는 이에 함유된 휘발성 유기화합물 역시 비선택성 천연 제초제로의 산업화가 가능할 것이라 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 15대 어젠다과제 “화학농약 대체기술”의 연구비(과제번호 PJ0068201002) 지원에 의해 수행되었음.

요 약

본 연구의 목적은 정유에 함유되어 있는 살초활성물질을 탐색하여 제초제 개발을 위한 선도 화합물을 발굴 하는데 있었다. *Amyris*(*Amyris balsamifera*), cajuput(*Melaleuca cajuputi*), geranium(*Pelargonium graveolens*), lavender(*Lavendula* spp.), mandarin(*Citrus reticulata*), pine(*Pinus* spp.) 및 rosemary(*Rosmarinus officinale*) 정유에 대한 살초력을 유채(*Brassica napus*)를 대상으로 *in vitro*에서 수행한 결과, cajuput 정유의 살초력이 가장 높았다(GR_{50} 값, $425\mu\text{g g}^{-1}$). Cajuput 정유에 함유되어 있는 주된 생리활성물질들은 eucalyptol 37.2%, α -terpineol 11.6%, benzaldehyde 5.2%, linalool 4.1%, α -pinene 2.5%, β -pinene 2.4%이었으며, 이들 생리활성물질의 살초력(GR_{50} 값)은 각각 2,731, 500, 50, 372, 4,363, 4,671 $\mu\text{g g}^{-1}$ 이었다. Benzaldehyde의 살초력은 기 보고된 eucalyptol

(1,8-cineole)과 α -pinene보다 높았으므로 향후 새로운 제초제 개발을 위한 선도화합물로 활용될 수 있을 것이라 판단된다. Cajuput 정유와 이에 함유되어 있는 가장 높은 살초력을 보였던 benzaldehyde를 80kg ha^{-1} 토양처리하였을 때에는 그 어떠한 살초효과도 관찰할 수 없었으나, 경엽처리 하였을 때에는 화본과잡초인 수수, 돌피, 바랭이는 100% 고사되었다. 그러나 살초효과는 20kg ha^{-1} 이하에서는 전혀 나타나지 않았는데 이는 cajuput 정유와 benzaldehyde의 높은 휘발성 때문인 것으로 추론된다. 본 연구의 결과 cajuput 정유의 살초효과는 높은 약량에서만 나타났으므로 약량저감을 위한 처리시기 재설정과 살초력을 높일 수 있는 제형개발이 요구된다.

인 용 문 헌

- 김미성, 이유선, 김희연, 최해진, 허수정, 권순배, 임상현, 김경희, 김성문. 2005. 족도리(*Asarum sieboldii* Miq.)로부터 신규 살초활성물질 elemicin의 분리. 한국잡초학회지 25(3):202-208.
- 김성문, 허수정, 용석호, 김진석, 허장현. 2001. 천연물 기원 살초활성물질. 한국잡초학회지 21(3):199-212.
- 김성문. 2006. 국내 자생 살초활성 식물종의 탐색. 한국잡초학회지 26(3):225-245.
- 김성문. 2008. 총꽃나무(*Caryoperis incana* Miq.) 정유의 성분분석과 세포독성평가. 한국응용생명화학회지 51(3):238-244.
- 김성문, 김희연, 황기환, 전익조. 2008. 긴병꽃풀(*Glenchoma hederacea*) 정유의 제초활성. 한국잡초학회지 28(2):152-160.
- 김재덕, 장현우, 서보람, 황현진, 최정섭, 김진석. 2010. 천연물 제초제 개발을 위한 전식물체 수준의 경엽처리 검정법 개발. 한국잡초학회지 30(2):153-163.
- 김희연, 최해진, 김도순, 허수정, 김성문. 2003. 애기수영(*Rumex acetosella* L.)으로부터 새로운 살초활성물질 chrysophanic acid의 분리. 한국잡초학

- 회지 23(4):301-309.
- 박유화, 김성문. 2008. 털진달래(*Rhododendron mucronulatum* Turcz. var. *viliatum* Nakai) 정유의 성분분석과 독성평가. 한국응용생명화학회지 51(3):233-237.
- 박유화, 최해진, 왕해영, 김희연, 허수정, 김경희, 김영남, 김성문. 2007. 국내산 망초(*Erigeron canadensis* L.)의 정유성분. 한국잡초학회지 27(3):268-274.
- 임상현, 김희연, 허수정, 김경희, 임순성, 김성문. 2007. 삼지구엽초(*Epimedium koreanum* Nakai)로부터 살초활성물질 methyl-p-hydroxybenzoate의 분리. 한국잡초학회지 27(3):235-240.
- 장현우, 서보람, 황현진, 김재덕, 김진석, 김성문, 전재철, 최정섭. 2010. 천연물질 chrysophanic acid의 제초활성. 한국잡초학회지 30(2):143-152.
- 조광연. 1998. 신농약 효능검사와 기반 기술 연구. 과학기술부 선도기술개발사업 2단계 최종보고서. 901 p.
- 최성환, 구홍모, 안재영, 남진선, 김형환, 천인규, 이증주. 2008a. 식물정유의 단독 및 혼합처리가 밭잡초와 작물에 미치는 영향. 한국잡초학회지 28(1):61-68.
- 최성환, 안재영, 박기웅, 이증주. 2009. 식물정유가 직파벼 및 피의 초기생장에 미치는 영향. 한국잡초학회지 29(4):318-322.
- 최해진, 왕해영, 김영남, 허수정, 김남경, 정미순, 박유화, 김성문. 2008b. 수증기 증류로 추출한 망초(*Erigeron canadensis* L.) 정유의 성분분석과 독성평가. 한국응용생명화학회지 51(1):55-59.
- 최해진, 정미정, 김성문. 2008c. 할미꽃(*Pulsatilla koreana* Nakai)으로부터 신규 살초활성물질 5,6,7-trimethoxycoumarin의 분리 및 동정. 한국잡초학회지 28(3):229-235.
- Benner, J. P. 1993. Pesticidal compounds from higher plants. Pestic. Sci. 39:95-102.
- Boyd, N. S., and E. B. Brennan. 2006. Burning nettle, common purslane, and rye response to clove oil herbicide. Weed Tech. 646-650.
- Chun, J. C., and K. W. Han. 1989. An identification of volatile terpenes in allelopathic weeds. Kor. J. Weed Sci. 9(2):149-153.
- Dayan, F. E., and S. O. Duke. 2009. Biological activity of allelochemicals. In Plant-derived natural products. Eds. A. E. Osbourn and V. Lanzotti, Springer, Dordrecht, The Netherlands. pp. 361-384.
- Duke, S. O. 1992. Natural products as herbicides. The 1992 BCPC-Weeds pp. 302-305.
- Duke, S. O., J. G. Romagni and F. E. Dayan. 2000. Natural products as sources for new mechanisms of herbicidal action. Crop Protect. 19:583-589.
- Hüsnü Can Başer, K., and F. Demirci. 2007. Chemistry of essential oils. p.43. R. G. Berger, ed. In Flavours and Fragrances. Springer.
- Lawless, J. 1955. The illustrated encyclopedia of essential oils. Element Books. p. 170.
- Mao, L., G. Henderson and R. A. Laine. 2004. Germination of various weed species in response to vertiver oil and nootkatone. Weed Tech. 18:263-267.
- Mitchell G., D. W. Bartlett, T. E. M. Fraser, T. R. Hawkes, D. C. Holt, J. K. Townson and R. A. Wichert. 2001. Mesotrione : a new selective herbicide for use in maize. Pest. Manag. Sci. 57:120-128.
- Pillmoor, J. B., K. Wright and A. S. Terry. 1993. Natural products as a source of agrochemicals and leads for chemical synthesis. Pestic. Sci. 39:131-140.
- Singh, H. P., D. R. Batish, N. Setia and R. K. Kohli. 2005. Herbicidal activity of volatile oils from *Eucalyptus citriodora* against *Parthenium hysterophorus*. Annal Appl. Biol. 146(1):89-94.
- Tworzkowski, T. 2002. Herbicide effects of essential oils. Weed Sci. 50:425-431.
- Vyvyan, J. R. 2002. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. Tetrahedron 58:1631-1646.