소리쟁이(*Rumex crispus* L.)로부터 신규 살초활성물질 Angelicin의 분리

조남규^{1,3}, 이사은¹, 최정섭², 황기환³, 구석진³, 王海英⁴, 김성문^{1*}

Isolation of a New Herbicidal Compound Angelicin from Curly Dock (*Rumex crispus* L.)

Nam-Kyu Cho^{1,3}, Sa-Eun Lee¹, Jung-Sup Choi², Ki-Hwan Hwang³
Suk-Jin Koo³, Hai-Ying Wang⁴ and Songmun Kim^{1*}

ABSTRACT The objective of this study was to isolate a herbicidally active compound from curly dock (*Rumex crispus*), a native weed in Korea and to identify its' chemistry. The GR₅₀ value of methanol extracts which is determined by a seed bioassay using rapeseed (*Brassica napus*) seedlings was 935 $\mu\text{g g}^{-1}$. Activity-directed isolation of ethylacetate extract led to the isolation of ECDA fraction with GR₅₀ value 53 $\mu\text{g g}^{-1}$. Based on data of GC-MS, ¹H-NMR and ¹³C-NMR, the chemical structure of ECDA was determined as 2H-furo[2,3-H]-[1]-benzopyran-2-one which is known as angelicin. The GR₅₀ values of angelicin to barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), southern crabgrass (*Digitaria ciliaris*), and indian jointvetch (*Aeschynomene indica*) were 426, 66 and 216 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectively. Our results suggest that angelicin could be used as a lead compound for the development of new herbicides.

Key words: angelicin; curly dock; natural herbicidal compound; *Rumex crispus*; 2H-furo[2,3-H]-[1]-benzopyran-2-one.

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 July 12, 2010; Examined August 4, 2010; Accepted August 23, 2010)

서 언

인축 및 환경독성문제(Duke 1992)와 저항성 문제(Devine과 Shulka 2000)로 인한 수요둔화와 공급과잉으로부터 제초제 시장 확대의 어려움에 직면한 농약회사에서는 기개발된 제초제의 화학구조를 모방하는 me-too 방법, 유기화합물을 합성하고 살초검정을 통한 무작위 스크리닝 방법으로는 신물질을 개발하는데 한계가 있음을 인식하고 있으며(Benner 1993; Duke 등 2000; Pillmoore 등 1993), 이를 타개할 대안으로 천연물 유래 살초활성물질에서 찾고 있다(Vyvyan 2002). 우리나라에서도 2000년 초반부터 국내 자생식물로부터 살초활성식물을 탐색하는 실험이 진행되었고(김 2006) 애기수영(*Rumex acetosella* L.)으로부터 chrysophanic acid(김 등 2003a), 족도리(*Asarum sieboldii* Miq.)로부터 elemicin(김 등 2005), 삼지구엽초(*Epimedium koreanum* Nakai)로부터 methyl-p-hydroxybenzoate(임 등 2007), 할미꽃(*Pulsatilla koreana* Nakai)으로부터 anemonin(최 등 2003)과 5,6,7-trimethoxycoumarin(최 등 2008)이 분리된 바 있으나, 현재까지 이와 같은 식물기원 살초활성물질이 국내는 물론 국외의 농약회사에서 제초제 개발에 활용되고 있지는 않은 형편이다.

소리쟁이(*Rumex crispus* L.)는 우리나라 전역에서 자라는 마디풀과(Polygonaceae)의 다년생초본으로 높이가 30-80cm이고 줄기는 곧추 자라며 줄기에서 달리는 잎은 호생하며 잎자루가 짧고 장타원상 피침형으로 양끝이 좁고 주름살이 있으며, 우리나라에는 소리쟁이와 형태학적으로 유사한 참소리쟁이(*R. japonicus* HOUTT), 묵발소리쟁이(*R. conglomeratus* MURP.), 금소리쟁이(*R. maritimus* L.)도 서식하고 있다(이 2003).

민간에서는 잎을 식용으로 사용하고 있으며, 한방에서 소리쟁이의 잎과 뿌리는 우이대황엽, 우이대황이라 하여 지혈, 통열, 해독, 통변, 기관지염, 변비 등의 다양한 처방제제로 활용되고 있다(정과 신 1990). 최근에는 소리쟁이에 함유되어 있는 생리활성물질과 이의 생리작용에 대한 연구가 진행되고 있는데, 이 등(2007)은 소리쟁이 종자의 추출물이 소염진통작용 및 간보호

효과가 있는 것으로 보고한 바 있으며, 정 등(2006)은 소리쟁이 추출물이 *Vivrio vulificus*와 *Saccharomyces cerevisiae*에 대하여 항균활성을 나타내는 것으로 보고하였다. 그리고 소리쟁이에는 2,6-dichloro-4-nitrophenol, 2-isopropyl-5-methylphenol, 4-vinyl-2-methoxy-phenol, 2,3-dihydrobenzofuran와 같은 항산화물질이 존재하여(신 2001) BHA나 아스코르브산과 유사한 항산화활성을 나타내는 것으로 보고되기도 하였다.

소리쟁이 추출물은 살균 및 제초활성이 있어서 농약개발을 위한 선도화합물(mother compounds)을 제공할 수 있음이 보고되었는데 조 등(2002)은 소리쟁이에 함유된 chrysophanol, parietin, nepodin이 식물 흰가루병 방제에 효과를 나타내는 것으로 보고하였다. 그리고 김 등(2003b)은 소리쟁이 MeOH 추출물이 유채에 대하여 살초활성을 나타내는 것으로 보고하였으나 현재까지 이에 함유된 살초활성물질에 대해서는 보고된 바가 없다.

본 연구의 목적은 소리쟁이에 함유된 살초활성물질을 분리하고, 그 화학구조를 밝히는데 있다.

재료 및 방법

식물시료

실험에 사용된 소리쟁이 시료는 2009년 농촌진흥청에서 공급받았으며, 시료는 분쇄기를 이용하여 0.6mm 이하로 마쇄하였다(김 등 2003b).

메탄올 추출물

식물시료로부터 메탄올 (MeOH) 추출물을 만드는 과정은 임 등(2006)의 방법에 따라 수행되었다. 마쇄된 소리쟁이 건조시료 1kg을 취하여 MeOH 2L가 담겨 있는 5-L erlenmeyer flask에 넣고 100rpm의 진탕기에서 24시간씩 2회 반복추출하였다. MeOH 추출물을 여과지가 깔려있는 Büchner funnel을 통과시켜 잔재물을 제거한 후 회전감압농축기(EYELA NE-1101)로 완전 농축한 다음, 증류수를 50mL 첨가하였다. Flask 내의 건조물을 증류수를 이용하여

잘 용해시킨 다음 동결건조기(ILSHIN Lab Co. Ltd., Japan)를 이용하여 건조시켰다. 동결건조된 시료를 4℃의 냉장고에 보관하면서 살초활성검정에 사용하였다.

살초력 검정

MeOH 추출물의 살초력 검정은 임 등(2007)의 방법에 따라 seed bioassay를 수행하였다. MeOH 추출물을 증류수로 희석하여 $10,000\mu\text{g g}^{-1}$ stock solution을 제조한 후, 이 stock solution으로부터 농도를 달리하는 처리액을 제조하였다. 처리액을 모래 1g 위에 5립의 유채(*Brassica napus* L.) 종자가 치상되어 있는 24-well tissue culture test plate에 처리하였고, test plate를 온도 25℃, 습도 70%, 광도 $250\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 조건의 식물생장상에 놓고 7일간 성장시켰다. 처리 7일 후 유채 유식물의 생체중을 측정하여 각 시료에 대한 GR₅₀ 값(식물의 성장을 50% 저해할 수 있는 약량)을 계산하였다. 모든 실험은 3반복 실시되었으며, 각 반복은 처리구 당 4개의 plots로 구성되었다.

메탄올 추출물의 용매 분획

MeOH 추출물의 용매분획실험은 임 등(2006)의 논문에서 기술된 바와 같이 수행되었다. MeOH 건조물 10g 당 각각 100mL의 hexane, dichloromethane (CH_2Cl_2), ethylacetate(EtOAc), butanol(BuOH), 증류수로 단계적으로 용매의 극성을 높여가면서 각 용매의 가용분획별로 분획한 다음, 각각의 분획층을 회전감압농축기로 완전농축하고 동결건조시켰다. 동결건조된 분획물을 증류수를 사용하여 농도를 달리하는 처리액을 제조하였고, 각 분획물에 대한 살초활성을 살초력 검정에서 전술된 바와 같이 수행하였다.

살초활성물질의 분리 및 정제

전술된 용매분획물 중 높은 살초활성과 회수율을 나타내었던 ethylacetate 분획물로부터 살초활성물질을 분리하고자 bioassay-directed isolation을 수행하였다. Ethylacetate 분획물(93.6g)을 dichloromethane-methanol 혼합용액(9 : 2, v/v)으로 흡착컬럼크로마

토그래피(silica gel 60, 0.040-0.063 mm, Merck)에서 10mL씩 용출분획하여 EA, EB, EC, ED 분획물을 얻었으며, 각 분획물의 V_e/V_t (elution volume/column bed volume)은 0.75, 0.65-0.68, 0.50-0.08, 0.12-0.27이었다. 각각의 분획물을 회전감압농축기로 완전농축한 다음 전술된 바와 같이 살초력검정을 수행하였으며, EC 분획물의 살초력이 가장 높다는 결과를 바탕으로 bioassay-directed isolation을 수행하였다.

EC 분획물(4.2g)을 EtOAc- CH_2Cl_2 -MeOH 혼합용액(2 : 1 : 1, v/v/v)으로 흡착컬럼크로마토그래피에서 10mL씩 용출분획하여 ECA 분획물(V_e/V_t 0.75), ECB 분획물(0.70), ECC 분획물(0.67), ECD 분획물(0.00-0.62)을 얻었다. 각각 분획물을 회전감압농축기로 완전농축한 다음 전술된 바와 같이 살초력검정을 수행하였으며, ECD 분획물의 살초력이 가장 높았다. 이러한 결과를 바탕으로 ECD 분획물을 bioassay-directed isolation 방법으로 다시 분획하였다.

ECD 분획물(0.17g)을 hexane-EtOAc- CH_2Cl_2 -MeOH 혼합용액(5 : 4 : 3 : 2)을 전개용매로 이용하여 흡착컬럼크로마토그래피에서 10mL씩 용출분획하였으며, ECDA 분획물(V_e/V_t 0.87-0.92), ECDB 분획물(0.47-0.52), ECDC 분획물(0.10-0.12), ECDD 분획물(0.00-0.02)을 얻었다. 4개의 분획물을 회전감압농축기로 완전농축한 후 앞서 기술한 바와 같이 살초력검정을 수행하였다.

살초활성물질의 기기분석

GC-MS

소리쟁이로부터 분리된 살초활성물질 ECDA의 화학구조를 구명하기 위하여 gas chromatography(7890A, Aglient)와 mass spectrometry(5975C, Aglient)을 사용하였다. GC의 컬럼은 HP-5MS(30m×0.32mm×0.25 μm)이었고, 분석조건은 주입구 온도 270℃, 오븐온도 80℃(3분)-분당 10℃ 승온-300℃, 컬럼온도 280℃이었다. 가스는 He를 사용하였으며 분당 1mL의 속도로 흘려주었다. MS 분석조건은 이온화전압 70eV, 이온소스 온도 280℃이었다.

¹H-NMR, ¹³C-NMR

ECDA의 화학구조를 결정하기 위하여 ¹H-NMR (600MHz, Bruker Advance II)과 ¹³C-NMR(600MHz, Bruker Advance II)를 이용하여 분석하였으며, 용매는 CH₂Cl₂를 사용하였고 내부표준물질로는 tetramethylsilane (TMS)을 사용하였다.

결과 및 고찰

저자들은 제초제 개발에 필요한 새로운 선도물질(mother compound)을 얻기 위하여 국내의 자생식물로부터 살초활성물질을 탐색하는 일련의 연구를 수행한 바 있다(김 등 2003a; 김 등 2004; 김 등 2005; 임 등 2007; 최 등 2003; 최 등 2008). 이러한 살초활성물질은 살초력이 매우 높았던 식물에서 뿐만 아니라 살초력이 높지 않았던 식물로부터도 얻어졌기 때문에 다양한 식물들이 살초활성물질 탐색을 위한 재료로 활용될 수 있다고 판단되었다(김 2006). 본 연구의 재료로 사용된 소리쟁이는 이미 김 등(2003)에 의해 살초활성이 있다고 보고된 바가 있다(GR₅₀ 값, 935µg g⁻¹).

본 연구에서는 소리쟁이 MeOH 추출물로부터 살초활성물질을 분리하고 그 화학구조를 동정하기 위한 일련의 실험을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 소리쟁이의 MeOH 추출물 역시, 앞서 김 등(2003)이 보고한 바와 같이, 살초활성이 있었지만 그 살초력에 있어서는 차이가 있었는데(935 vs. 2,138µg g⁻¹), 이러한 살초력의 차이는 수집장소와 채취시기의 차이 때문이라 판단된다(김 2006).

소리쟁이 MeOH 추출물을 hexane, CH₂Cl₂, EtOAc, BuOH, H₂O로 분획한 다음 각각의 분획물을 유채를 대상으로 seed bioassay를 수행한 결과, 각 분획물의 GR₅₀값은 2,150, 1,184, 2,563, 2,582, 6,185µg g⁻¹으로 CH₂Cl₂ 분획물의 살초활성이 가장 높았다(표 1).

CH₂Cl₂ 분획물은 살초활성이 가장 높았지만 회수율이 낮았기에 살초활성물질을 분리하는데 많은 시료가 필요하였고, BuOH 분획물은 회수율은 높았던

Table 1. Growth inhibition of solvent extracts from curly dock (*Rumex crispus* L.).

Solvent extracts ¹⁾	GR ₅₀ value ²⁾ (µg g ⁻¹)	Yield (%)
Hexane	2,150	1.43
CH ₂ Cl ₂	1,184	0.48
EtOAc	2,563	3.12
BuOH	2,582	5.41
H ₂ O	6,185	20.14

¹⁾The methanol extract from curly dock was extracted with five different solvents. The solvent extracts were freeze-dried and their effects on the growth of canola (*Brassica napus* L.) seedlings were determined.

²⁾The GR₅₀ value is a concentration to inhibit the growth of plants by fifty percent compared to the growth of control plants. Means are based on data from three replicates.

반면 컬럼크로마토그래피를 이용하여 살초활성물질을 분리하는데 많은 어려움이 있었다(자료미제시). 이러한 이유로 인해 EtOAc 분획물에 함유되어 있는 살초활성물질을 fractionation-directed bioassay를 수행하면서 분획분리하였다. EtOAc 분획물(93.6g)을 CH₂Cl₂-MeOH 혼합용액(9 : 2, v/v)으로 흡착컬럼크로마토그래피에서 10mL씩 용출시키면서 4개의 분획물(EA, EB, EC, ED)을 얻었다. EA 분획물의 Ve/Vt (elution volume/column bed volume)은 0.75, EB 분획물의 Ve/Vt는 0.65-0.68, EC 분획물의 Ve/Vt는

Table 2. Herbicidal activities of EA, EB, EC and ED fractions from ethylacetate extracts of curly dock.

Fraction ¹⁾	Herbicidal activity (GR ₅₀ , µg g ⁻¹)	Yield (%)
EA	1,550	2.0
EB	2,070	2.2
EC	918	4.5
ED	> 4,000	18.6

¹⁾Four fractions were obtained by eluting EtOAc extract with CH₂Cl₂-MeOH solution (9 : 2, v/v) in a silica gel column chromatography. Means are based on data from three replicates.

Table 3. Herbicidal activities of ECA, ECB, ECC and ECD fractions from EC extracts of curly dock.

Fraction ¹⁾	Herbicidal activity (GR ₅₀ , $\mu\text{g g}^{-1}$)	Yield (%)
ECA	1,850	3.5
ECB	585	10.2
ECC	1,040	4.8
ECD	294	4.0

¹⁾Four fractions were obtained by eluting EC extract with EtOAc-CH₂Cl₂-MeOH solution (2 : 1 : 1, v/v/v) in a silica gel column chromatography. Means are based on data from three replicates.

0.50-0.58, 그리고 ED 분획물의 Ve/Vt는 0.12-0.27이었으며, 각각 분획물의 GR₅₀값은 1,550, 2,070, 918, >4,000 $\mu\text{g g}^{-1}$ 이었다(표 2).

살초활성이 가장 높았던 EC 분획물(4.2g)을 EtOAc-CH₂Cl₂-MeOH 혼합용액(2 : 1 : 1, v/v/v)으로 흡착컬럼크로마토그래피에서 10mL씩 용출분획하여 ECA (Ve/Vt 0.75), ECB(0.70), ECC(0.67), ECD(0.00-0.62) 분획물을 얻었다. 분획물을 회전감압농축기로 완전농축한 다음 seed bioassay를 수행한 결과, ECA, ECB, ECC, ECD 분획물의 GR₅₀값은 각각 1,850,

Table 4. Herbicidal activities of ECDA, ECDB, ECDC and ECDD fractions from ECD extracts of curly dock.

Fraction ¹⁾	Herbicidal activity (GR ₅₀ , $\mu\text{g g}^{-1}$)
ECDA	53
ECDB	412
ECDC	>500
ECDD	319

¹⁾Four fractions were obtained by eluting ECD extract with hexane-EtOAc-CH₂Cl₂-MeOH solution (5 : 4 : 3 : 2, v/v/v/v) in a silica gel column chromatography. Means are based on data from three replicates.

585, 1,040, 294 $\mu\text{g g}^{-1}$ 이었다(표 3).

살초활성이 가장 높았던 ECD 분획물(0.17g)을 hexane-EtOAc-CH₂Cl₂-MeOH 혼합용액(5 : 4 : 3 : 2, v/v/v/v)을 전개용매로 흡착컬럼크로마토그래피에서 10mL씩 용출분획하여 ECDA (Ve/Vt 0.87-0.92), ECDB(0.47-0.52), ECDC(0.10-0.12), ECDD(0.00-0.02) 분획물을 얻었으며, 각각의 분획물에 대한 GR₅₀값을 구한 결과 ECDA 분획물이 53 $\mu\text{g g}^{-1}$ 으로 가장 낮았다(표 4).

Fig. 1. EI-MS spectrum of the herbicidal fraction ECDA from *Rumex crispus* L.

Fig. 2. ^1H -NMR spectrum of the herbicidal fraction ECDA from *Rumex crispus* L.

소리쟁이 EtOAc 분획층으로부터 분리된 살초활성 물질 ECDA를 normal phase 실리카겔(Silica gel 60 F₂₅₄, Merck)와 reversed phase 실리카겔(Silica gel RP-18 F₂₅₄, Merck) 박막 크로마토그래피에서 정제 한 후, 직접도입방식으로 EI mass 분석을 실시한 결과 molecular ion이 m/z 186(base peak)에 나타났으며, 특징적인 fragment ion이 m/z 158, 130, 102, 76, 51에 나타났었다(그림 1). 이 spectrum으로 NIST library 검색을 실시한 결과 angelicin으로 알려져 있는 2H-furo[2,3-H]-[1]-benzopyran-2-one의 가능성이 시사

되었다.

CH_2Cl_2 를 용매로 사용하여 ^1H -NMR을 실시한 결과, δ 6.34(1H, d, H-3), 7.81(1H, d, H-4), 7.40(1H, d, H-5), 7.43(1H, d, H-6), 7.73(1H, d, H-2'), 7.13 (1H, s, H-3')에서 proton signal을 확인하였다(그림 2).

단일물질로 확인된 ECDA 분획물을 CH_2Cl_2 를 용매로 사용하여 ^{13}C -NMR(600 MHz)에서 구조동정한 결과 δ 160.3(C-2), 114.0(C-3), 144.4(C-4), 123.9 (C-5), 108.5(C-6), 157.3(C-7), 116.7(C-8), 148.5 (C-9), 113.6(C-10), 146.0(C-2'), 103.8(C-3')에서

Fig. 3. ^{13}C -NMR spectrum of the herbicidal fraction ECDA from *Rumex crispus* L.

Fig. 4. Chemical structure of a new herbicidal compound angelicin from *Rumex crispus* L.

carbon signal을 확인할 수 있었다(그림 3).

이상의 GC-MS, $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ 의 분석 결과를 바탕으로 소리쟁이로부터 살초활성물질로 분리된 활성물질 ECDA는 분자량이 186.2이고, 화학구조식이 $\text{C}_{11}\text{H}_6\text{O}_3$ 인 angelicin(2*H*-Furo[2,3-*H*]-1-benzopyran-2-one)이라 판단되었다(그림 4). Angelicin은 coumarin과 furan ring이 결합되어 있는 furanocoumarin 구조를 하고 있는 psoralen의 이성질체로 식물이 곤충의 침입을 받았을 때 phenyl-propanoid pathway 또는 mevalonate pathway를 통해 생성되는 방어기작물질이지만, 식물-식물 상호작용을 통한 살초효과에 대해서는 현재까지 보고된 바가 없다. Angelicin이 유채 이외에 다른 식물에 대해서도 살초활성을 나타내는지를 알기 위하여 물피(*Echinochloa crusgalli* L.), 바랭이(*Digitaria ciliaris* (Retz.) Koel), 자귀풀(*Aeschynomene indica* L.)을 대상으로 seed bioassay를 수행한 결과 각 식물에 대한 GR_{50} 값은 426, 66, 216 $\mu\text{g g}^{-1}$ 이었다. 이러한 결과는 angelicin이 광엽식물(유채, 자귀풀), 화본과식물(물피, 바랭이)에 대해서도 살초활성을 갖는다는 것을 나타낸다. 본 연구를 통하여 마디풀과의 소리쟁이 EtOAc 추출물로부터 분리되고 그 화학구조가 밝혀진 살초활성물질 angelicin은 현재까지 개발된 그 어떠한 제초제의 구조와는 다른 독특한 구조를 가지고 있었다. Angelicin은 향후 새로운 작용점을 저해하는 제초제 개발에 있어서 선도물질(lead compound)로 이용될 수 있을 것이라 판단된다.

감사의 글

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

요 약

본 연구의 목적은 국내 자생식물인 소리쟁이(*Rumex crispus*)로부터 살초활성물질을 분리하고, 그 화학구조를 구명하는데 있다. 소리쟁이 메탄올 추출물의 유채에 대한 GR_{50} 값은 935 $\mu\text{g g}^{-1}$ 이었다. 메탄올 추출물을 에틸아세테이트로 분획한 분획층을 대상으로 activity-directed bioassay를 수행하여 가장 살초활성이 높았던 ECDA 분획물을 얻었다(GR_{50} 값, 53 $\mu\text{g g}^{-1}$). ECDA 분획물을 GC-MS, $^1\text{H-NMR}$, $^{13}\text{C-NMR}$ 로 분석한 결과 분자량 186.2, 화학구조식 $\text{C}_{11}\text{H}_6\text{O}_3$, furanocoumarin 골격구조를 하고 있는 2*H*-furo[2,3-*H*]-[1]-benzopyran-2-one(angelicin)으로 밝혀졌다. Angelicin의 물피(*Echinochloa crus-galli*), 바랭이(*Digitaria ciliaris*), 자귀풀(*Aeschynomene indica*)에 대한 seed bioassay 결과 각 식물에 대한 GR_{50} 값은 426, 66, 216 $\mu\text{g g}^{-1}$ 이었다. 본 연구의 결과는 소리쟁이 유래 신규 살초활성물질 angelicin은 향후 새로운 제초제 개발을 위한 선도물질로 이용될 수 있을 것이라 판단된다.

인 용 문 헌

- 김미성, 이유선, 김희연, 최해진, 허수정, 권순배, 임상현, 김경희, 김성문. 2005. 죽도리(*Asarum sieboldii* Miq.)로부터 신규 살초활성물질 elemicin의 분리. 한국잡초학회지 25(3):202-208.
- 김성문. 2006. 국내 자생 살초활성 식물종의 탐색. 한국잡초학회지 26(3):225-245.
- 김희연, 최해진, 김도순, 허수정, 김성문. 2003a. 애기수영(*Rumex acetosella* L.)으로부터 새로운 살초

- 활성물질 chrysophanic acid의 분리. 한국잡초학회지 23(4):301-309.
- 김희연, 최해진, 임상현, 허수정, 한상섭, 김도순, 황기환, 김성문. 2003b. 살초활성물질 함유 국내 자생식물의 탐색(I). 농약과학회지 7(4):248-257.
- 신춘혜. 2001. *Rumex crispus*의 에칠아세테이트 추출물의 항산화 성분에 관한 연구. 한국생물공학회지 16(6):592-602.
- 이신식, 김대홍, 임동술, 이숙연. 2007. 소리쟁이 종자의 소염진통작용 및 간보호 효과. 생약학회지 38(4):334-338.
- 이창복. 2003. 원색 대한식물도감. 향문사. p. 248.
- 임상현, 김희연, 허수정, 김경희, 임순성, 김성문. 2007. 삼지구엽초(*Epimedium koreanum* Nakai)로부터 살초활성물질 methyl-*p*-hydroxybenzoate의 분리. 한국잡초학회지 27(3):235-240.
- 정귀택, 이경민, 박돈희. 2006. 소리쟁이 추출물의 항균 및 항산화 활성에 관한 연구. 화학공학 44(1): 81-86.
- 정보섭, 신민교. 1990. 도해 향약 생약 대사전. 식물편. 영림사. p. 331.
- 조광연, 최경자, 김진철, 김진석, 이선우, 장경수, 최용호, 최정섭. 2002. 소리쟁이 추출물 함유 식물 흰가루병 방제 조성물. 대한민국특허 10-2002-0007950.
- 최해진, 김희연, 허장현, 허수정, 김도순, 김성문. 2003. 할미꽃(*Pulsatilla koreana* Nakai)으로부터 새로운 살초활성물질 anemonin의 분리. 한국잡초학회지 23(4):310-317.
- 최해진, 정미정, 김성문. 2008. 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.
- Devine, M. D., and A. Shukla. 2000. Altered target sites as a mechanism of herbicide resistance. Crop Protection 19:881-889.
- 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 Protection 19:583-589.
- 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.
- Vyvyan, J. R. 2002. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. Tetrahedron 58:1631-1646.