

목향(*Saussurea lappa*) 유래 Dehydrocostus lactone의 경엽 접촉 살초 활성

조광민¹, 안설화², 전재관¹, 김효선¹, 전재철^{1*}

Foliage Contact Herbicidal Activity of Dehydrocostus lactone Derived from *Saussurea lappa*

Kwang-Min Cho¹, Xue-Hua An², Jae-Kwan Chon¹
Hyo-Sun Kim¹ and Jae-Chul Chun^{1*}

ABSTRACT A foliage contact herbicidal substance was separated from ethyl ether fraction in *n*-hexane extract of *Saussurea lappa* roots and identified as dehydrocostus lactone [(3aS,6aR,9aR,9bS)-3,6,9-trimethylidene-3a,4,5,6a,7,8,9a,9b-octahydroazuleno[5,4-d]furan-2-one](DHCL). When DHCL at 4,000 ppm was foliage-applied to two grasses and two broadleaf plants, greater than 85% necrotic injury was obtained from large crabgrass, maize and soybean, whereas only about 40% necrotic injury appeared in black nightshade, indicating that DHCL has no gross morphological selectivity, but shows difference in contact response among the plant species tested. Conductivity in incubation medium of the leaf disks treated with DHCL increased as the incubation time continued. Relatively low contact injury in black nightshade as compared with the other three plant species tested was attributed to decrease in absorption of DHCL due to relatively high amount of cuticle. DHCL did not require light in the herbicidal action and there were no inhibitory effects on seed germination and cell elongation. Acetyl-CoA carboxylase activity was inhibited by 30% and 58% at 100 μ M and 1,000 μ M DHCL, respectively. These results suggested that the herbicidal action of DHCL was related with inhibition of fatty acid synthesis which in turn caused to weaken cell membrane integrity.

Key words: dehydrocostus lactone; herbicidal activity; *Saussurea lappa*.

¹ 전북대학교 생물환경화학과 및 생리활성물질연구소(Department of Bioenvironmental Chemistry and Research Center of Bioactive Materials, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea).

² 중국 절강성농업과학원(Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, China).

* 연락저자(corresponding author) : Phone) +82-63-270-2548, Fax) +82-63-270-2550, E-mail) jccchun@chonbuk.ac.kr

(Received November 15, 2010; Examined November 23, 2010; Accepted December 1, 2010)

서 언

식물체에는 타 식물의 성장을 저해하는 수많은 물질이 존재한다. 이들 식물체 유래 식물독소(phytotoxin)는 phenol류, terpenoid류 또는 alkaloid류들로서 대부분이 식물의 2차 대사산물이다(Godfrey 1995). 최근 식물체로부터 생리활성을 나타내는 식물독소의 탐색은 환경친화형 농업기술 개발의 일환으로 주목 받고 있고 이와 관련된 다양한 활성물질이 보고되어 왔다. 국내 자생 식물자원으로부터 탐색된 살초 활성물질로는 삼추(*Atractylodes japonica*) 근경으로부터 sesquiterpene류인 isolantolactonoid butenolide A가 분리 동정(김 등 2002)되었고, 애기수영(*Rumex acetosella*)으로부터 chrysophanic acid(김 등 2003), 또한 할미꽃(*Pulsatilla koreana*)으로부터 anemonin과 5,6,7-trimethoxycoumarin(최 등 2003; 2008)이 분리 동정된 바 있다. 이 밖에도 산초나무(*Zanthoxylum schinifolium*) 열매에서 psoralen과 bergapten(김 등 2005a), 족도리(*Asarum sieboldii*)에서 elemicin(김 등 2005b), 삼지구엽초(*Epimedium koreanum*)에서 methyl-*p*-hydroxybenzoate(임 등 2007), 그리고 방아풀(*Agastache rugosa*)에서 dhelwangin(안 등 2008) 등이 보고된 바 있다.

지금까지 탐색된 살초 활성물질들의 원류식물들은 어느 특정 식물분류 군에만 속하지 않고 매우 다양한 식물 분류군들에 분포하고 있으며, 활성물질이 나타내는 활성 작용력도 타식물체의 발아 또는 유묘 성장 저해 효과가 대부분이었다. 한편 식물체 중에 존재하는 활성물질의 함유량은 매우 낮은 수준으로 존재하는 것이 보통인데 그 이유는 고등식물 체내에 존재하며 타 식물체의 성장에 영향을 끼치는 식물독소의 경우 근본적으로 낮은 함유량 수준이 아니면 높은 식물독소량에 의한 자가독소 역할을 보이기 때문이라 할 수 있다. 또한 활성물질이 나타내는 살초 작용력은 주로 검정식물의 발아 및 유묘 성장저해 효과가 주로 탐색에 이용되어 왔는데 이는 검정식물들에 대하여 활성물질의 저농도 수준에서 가장 민감하게 반응하는 성장 반응이 발아 후 초기 생육이나 유묘의 생육 반응이기 때문이었다. 이러한 이유로 지금까지 보고

된 살초활성물질 중 경엽활성을 보이는 물질이 보고된 경우는 많지 않았다. 이러한 상황에서 목향(*Saussurea lappa*) 뿌리 비극성 추출물의 살초 활성이 발아 및 유묘생육 저해 보다는 오히려 경엽 살초 활성이 강하였던 기초실험의 결과를 바탕으로 본 연구에서는 경엽살초 활성물질을 분리 동정하고, 이 물질의 살초 활성 작용기구를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

식물재료

건조된 목향 뿌리를 전주시 소재 한약재상으로부터 구입하여 활성물질 분리 재료로 사용하였다. 생물검정 화본과 및 광엽잡초의 종자는 전북대학교 잡초방제 연구실에서 보관 중인 휴면각성 종자를 이용하였다. 이들 종자들을 부농상토를 담은 플라스틱 사각 상자에 파종하여 관수하고, 온실(주간 30±3℃/야간 20±3℃, 일장 14시간)에서 5일 동안 발아 생육시켰다.

제조활성 물질의 분리 동정

건조 목향 뿌리를 수차례 물로 세척하여 표면의 토양과 먼지를 제거한 후 흡수지로 수분을 제거하고, 마쇄기로 분쇄한 가루 1kg을 methanol(9L)로 2회에 걸쳐 1일 동안 실온에서 추출하였다. 추출물을 Whatman No. 1 여과지를 통해 여과한 다음 이들을 35℃에서 감압 농축 건조시켰다. 이 건조물을 1L의 증류수에 녹이고 동량의 n-hexane을 가한 다음 분액여두에서 진탕 후 두 층을 분획하였다. 이 과정을 3회 반복하여 모은 n-hexane 층을 감압 농축하고 완전 건조시켜 n-hexane 추출물(24g)을 얻었다.

n-Hexane 추출물을 flash column chromatography를 통해서 n-hexane, ethyl ether, ethyl acetate 및 methanol의 분획을 얻고, 이들 중 제조 활성을 포함하고 있는 ethyl ether(18.7g)만을 취한 다음, 이를 유리 column(2.8×60cm)을 사용하여 용출 용매계 n-hexane : acetone(99 : 1, v/v)으로 slurry를 만들어 현탁 충전 후 극성을 단계적으로 증가(→ 50 : 50,

v/v)시키는 step-wise 용출법으로 분리하였다. 유속은 1ml/sec로 하였고 20ml 시험관을 이용하여 분획 당 15ml씩 500개의 시료를 분취하였다. 분취한 시료를 Thin Layer Chromatography(TLC)판(precoated silica gel F254, 5×1cm)에 10ml씩 점적하여 건조하고 n-hexane : acetone(9 : 1, v/v) 용매에 전개시킨 후 UV 램프 하에서 전개양상을 조사하여 제조활성물질이 함유(R_f 0.36)되어 있는 163~235번째 시료를 한 곳에 모은 후 이들을 35°C에서 감압 건조시켰다.

TLC를 통해 단일물질로 확인된 분리물질을 acetone으로 용해하여 HPLC에 10ml를 주입하여 분석하였다. HPLC의 분석조건은 column; Bondapak NH₂ (3.9×300mm), mobile phase; 10mM NaH₂PO₄용액 : methanol(6 : 4, v/v), flow rate; 1ml/min, detector (UV/VIS); 342nm이었다. 또한 ¹H-NMR과 ¹³C-NMR을 이용하여 구조를 확인하였다.

제조활성 생물검정

제조활성물질 분리 과정 중 각 분획 별 생물검정은 발아 생육 후 5일된 화분과 및 광엽식물 유묘에 2,000ppm 수준으로 경엽처리 한 후 엽신 고사율로 효과를 조사하였다.

한편 단일 물질로 분리 동정된 물질의 살초 활성 특성을 조사하기 위한 생물검정은 검정식물의 발아 억제력과 경엽처리 효과 등에 대하여 조사하였다. 발아억제력은 화분과 2초종(옥수수, 바랭이)과 광엽식물 2초종(콩, 까마중)의 종자 각 10립씩을 여지를 칸 Petri dish에 4반복으로 파종하고 검정물질을 희석(500~4,000ppm)하여 3ml씩 주입하고 덮개를 덮어 25°C 정온기에 치상한 다음 7일 후에 발아율을 조사하였다. 경엽처리 효과는 앞서와 동일한 초종에 대하여 콩을 기준으로 제1엽이 완전히 전개된 시기에 위와 동일한 검정물질의 농도 수준으로 약제를 조제하여 경엽처리 후 엽신 고사율로 조사하였다.

제조활성 발현기구

제조활성 발현에 관여하는 광에 대한 요구 여부는 온실에서 2주간 생육시킨 콩을 비롯한 검정식물이 2엽기에 도달하였을 때 실시하였다. 이들 검정식물

을 실내 배양실로 옮긴 후 분리 동정된 검정물질 dehydrocostus lactone(이하 DHCL)을 1,000ppm 수준으로 처리하고, 광이 차단된 암 조건 및 광도 180μmole · m⁻² · s⁻¹ 조건 하에서 각각 12시간 동안 25°C 배양실에 정치시킨 후에 측정된 엽신 고사율로 살초활성을 조사하였다. 또한 세포신장에 끼치는 영향은 귀리 엽초를 녹색광 하에서 5mm크기로 절단하여 Petri dish에 엽초 30개씩을 담고 여기에 DHCL이 함유된 인산 완충용액(pH 5.3)을 가한 후 25°C의 정온기에서 배양하고 24시간 후에 신장된 길이를 측정하였다. 세포신장은 dial caliper로 0.01mm까지 측정된 다음 최초의 길이를 빼고 남은 길이로 하였다. DHCL 처리에 따른 전해물질 누출 측정을 위하여 유리온실에서 3주간 생육시킨 까마중을 비롯한 검정식물의 제1엽을 채취하여 직경 5mm의 엽절편을 만들고 Petri dish에 엽절편 50개(0.1g)를 넣고 1% sucrose, 1mM 2-(N-morpholino)ethane sulfonic acid(pH 6.5) 완충용액 7ml를 가하였다. 검정약제를 200ppm 수준으로 처리한 후 25°C 암 상태의 정온기에서 1시간 동안 배양하고 이어서 180μmole · m⁻² · s⁻¹의 광 조건에서 24시간 동안 배양하면서 경과 시간에 따라 배양액의 전도도를 측정하였다.

DHCL이 옥수수에서 acetyl-CoA carboxylase (ACCase) 활성에 끼치는 영향을 H¹⁴CO₃와 acetyl-CoA에 의해 생성되는 ¹⁴C-malonyl-CoA의 방사능을 Liquid Scintillation Counter(LSC, Beckman LS6500)로 측정 조사하였다. 온실에서 생육시킨 2엽기의 엽시료 5g에 15 ml의 1mM EDTA, 10%(v/v) glycerol, 2mM isoascorbic acid, 1mM PMSF, 0.5% PVP-40, 20mM DTT가 함유된 100mM Tris 완충액(pH 8.0)을 가하여 막자사발로 마쇄, 추출하고 27,000g에서 30분간 원심분리 하였다. 그 후 상등액을 취하여 각각 20% 및 40% ammonium sulfate로 2회에 걸쳐 부분 정제한 다음 Sephadex G25가 충전된 PD-10 컬럼(Amersham Pharmacia Biotech AB, Sweden)을 이용하여 제염하고 반응 효소액으로 이용하였다. 효소 반응을 위한 완충액은 10mM KCl, 5mM ATP, 2mM MgCl₂, 2.5mM DTT, 0.15mM NaH¹⁴CO₃ (specific activity 251.6MBq/mole)가 함유된 20mM

Tricine-KOH(pH 8.3)이었으며, 32 °C 수조에서 10ml acetyl-CoA(최종농도 0.8mM)를 첨가하여 10분간 반응시켰다. 검정약제는 1~1,000 μ M 수준으로 처리하였고, 처리시 용매는 dimethyl sulfoxide(DMSO)를 사용하였으며, 반응액 중의 DMSO의 최종농도는 5%이었다. 반응개시 10분 후에 12N HCl 20ml를 첨가하여 반응을 정지시키고 80 °C 항온수조에서 1시간 동안 건조시킨 다음 0.5ml의 50% ethanol과 4ml의 LSC cocktail 용액(Beckman, USA)을 순차적으로 첨가하고 방사능을 측정하였다. 반응에 사용한 조효소의 단백질량은 100~150mg으로 최종 반응액은 200ml이었다(Stoltenberg 등 1989; Yenne와 Hatzios 1989; Manechote 등 1994). 효소의 단백질 정량은 Bradford (1976)법에 따랐다.

결과 및 고찰

목향근 추출물의 제초활성

목향 뿌리 n-hexane 추출물로부터 얻은 1차 분획물의 경엽 살초활성은 ethyl ether 분획에서 나타났으나, 그 외의 n-hexane, ethyl acetate 및 methanol 분획에서는 접촉 살초특성이 전혀 나타나지 않았다. Ethyl ether 분획은 화분과 검정식물에 대하여 약 30~50%의 살초효과를 보인 반면에, 광엽식물 중 콩과

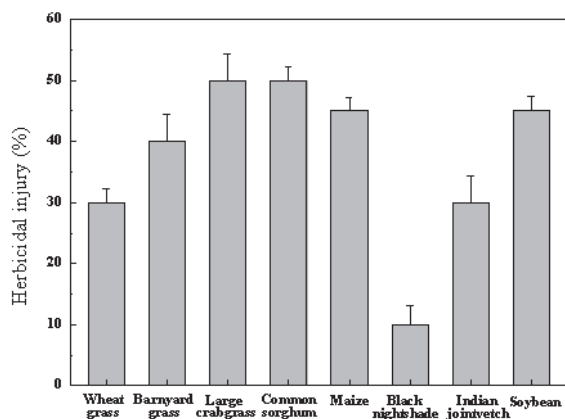


Fig. 1. Herbicidal injury of grass and broadleaf plants as affected by foliage application of ethyl ether fraction (2,000 ppm) obtained from n-hexane extract of *Saussurea lappa* roots.

자귀풀에 대하여서는 각각 30% 및 45%의 살초효과를 보였고, 까마중에 대해서는 10% 정도의 낮은 살초효과를 나타내었다(그림 1). 이상의 결과는 목향근 1차 조출물의 비극성 분획 중 ethyl ether 분획 내에 경엽 살초 활성물질이 포함되어 있음을 나타낸 결과로 검정식물 중간에 살초 반응성 차이가 어느 정도 나타내고는 있으나, 검정식물들의 외부형태적 차이에 따른 선택성 차이는 얻을 수 없었다. 한편 목향 뿌리 추출물의 모든 분획들은 검정식물의 종자 발아에 대하여서는 전혀 영향을 끼치지 못하였다(자료 제시 생략).

DHCL의 분리 동정 및 경엽처리 활성

Ethyl ether 분획으로부터 column 및 TLC를 통하여 얻은 제초 활성물질이 포함된 분획은 HPLC 분석 결과 단일물질로 확인되었으며, 이에 대한 $^1\text{H-NMR}$ 및 $^{13}\text{C-NMR}$ 분석 결과(표 1)에서 얻은 활성성분은 $\text{C}_{15}\text{H}_{18}\text{O}_2$ (분자량 230.3)의 (3aS,6aR,9aR,9bS)-3,6,9-trimethylidene-3a,4,5,6a,7,8,9a,9b-octahydroazuleno [5,4-d]furan-2-one(dehydrocostus lactone, 그림 2)으로 동정되었다. 이 sesquiterpene lactone인 DHCL은 목향에 존재하는 물질로 Lu(1996)에 의해 최초로 분리되어 보고된 이래, 항균 작용성이 보고(Cantrell 등 1998; Sun 등 2003)되었으며, 최근에 Hong 등(2008)은 DHCL이 인체의 암세포 전이와 침입을 억제하는 효과가 있다고 보고한 바 있었으나, 살초활성에 대해서는 아직까지 보고된 바 없었다. 그러나 Macias 등(2000)은 sesquiterpene lactone 물질이 다양한 생물학적 활성을 보이고 있음에 착안하여 DHCL을 산화시켜 dehydrozalanin C를 합성하고, 이 합성 화합물이 종자 발아억제 및 여러 단자엽 및 쌍자엽 식물에 대하여 생장억제 효과가 있음을 보고한 바 있다.

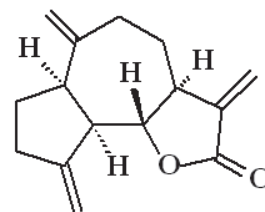


Fig. 2. Chemical structure of dehydrocostus lactone.

Table 1. NMR data for dehydrocostus lactone in CDCl₃ (1H,m).

Carbon number	δ_c	δ_H (Multi., J)
1	47.55	2.92 (1H, m)
2	30.24	1.94 (1H, m), 1.88 (1H, m)
3	32.54	2.54 (2H, m)
4	151.21	
5	45.07	2.88 (1H, m)
6	85.19	3.93 (1H, t, 9.3)
7	51.97	2.86 (1H, m)
8	30.88	2.24 (1H, m), 1.42 (1H, m)
9	36.21	2.48 (1H, m), 2.17 (1H, m)
10	149.18	
11	139.70	
12	120.13	6.22 (1H, d, 3.5), 5.39 (1H, d, 3.2)
13	170.21	
14	112.56	4.9 (1H, s), 4.82 (1H, s)
15	109.53	5.27 (1H, d, 4.3), 5.07 (1H, d, 4.2)

DHCL의 제초활성은 500ppm의 경엽처리 수준에서 까마중을 제외한 나머지 3종 검정식물(옥수수, 콩, 바랭이)에 대하여 10% 이하의 엽신 고사율을 보였으나, 처리농도의 증가와 함께 살초효과도 증가하여 2,000ppm 처리 수준에서는 45~60% 정도의 엽신 고사율을 나타내었다(표 2). 또한 4,000ppm의 고농도 처리에서 살초활성은 더욱 증대되어 85% 이상의 높은 엽신 고사율을 나타내었다. 그러나 광엽식물인 까마중에 대하여서는 2,000ppm 처리 수준에서 10% 정도의 엽신 고사율을 나타내었고, 고농도 처리 수준인 4,000ppm에서도 단지 40%의 엽신 고사율을 보였다. 한편 귀리 엽초에 대한 DHCL의 농도(0~200ppm)별 처리 결과 세포신장에는 어떠한 영향도 끼치지 않는 것으로 나타났다(자료 제시 생략). 이상의 결과는 DHCL이 나타내는 경엽 살초활성이 화본과 및 광엽식물 간 뚜렷한 선택성 차이는 나타내지 않지만, 검정 초종 간에 반응성 차이가 나타나고 있음을 인정할 수 있었던 것으로, 이러한 경향은 앞서의 ethyl ether 분획이 나타내었던 살초반응 효과와 유사한 결과로 ethyl ether 분획 중에 함유되었던 살초 활성성분이 DHCL에 의한 것임을 확인시켜 준 결과이었다.

Table 2. Herbicidal activity of dehydrocostus lactone to grass and broadleaf plants.

Plant species	Herbicidal injury (%)*			
	Dehydrocostus lactone (ppm)			
	500	1,000	2,000	4,000
Large crabgrass	10	20	60	95
Maize	10	20	45	85
Black nightshade	0	0	10	40
Soybean	10	20	60	90

* Dehydrocostus lactone was applied to leaves of target plants. Injury rating : 0=no injury; 100=completely killed.

제초활성 발현 기구

DHCL의 경엽처리 활성 발현은 광 유무에 관계없이 나타났다(그림 3). 바랭이를 비롯한 옥수수와 콩의 경엽에 처리된 DHCL은 암 조건 하에서도 광 조건하에 노출시킨 경엽에서 나타난 엽신 고사율과 동일하거나 거의 유사한 수준으로 나타나서, 활성 발현에 광의 역할을 인정할 수 없었다. 또한 검정식물 중 까마중에 대한 DHCL의 반응성 차이는 다른 검정식물 보다는 크게 낮은 엽신 고사율을 보였지만 광 유무에 따른 반응성 차이는 거의 나타나지 않았다. 이와 같이 DHCL 활성발현에 광이 요구되지 않는다는 사실은 DHCL에 의한 접촉 살초활성이 광 활성물질에 의한 활성산소 발생과는 관련되어 있지 않고 있음을 시사해 준 결과로 생각된다. 한편 엽절편의 DHCL 처리 배양액의 전도도 변화는 검정식물 4초종 모두 시간의 경과와 함께 계속 증가하는 경향(그림 4)을 보여 DHCL이 세포막 파괴에 영향을 끼치고 있음을 나타내고 있었다. 그러나 DHCL에 대한 세포막 파괴에 끼치는 반응성이 까마중에 있어서는 앞의 엽신 고사율 결과와는 다르게 나타났는데, 이것은 아마도 DHCL을 처리한 실험재료의 차이 때문인 것으로 생각된다. 즉 광 유무의 효과실험의 경우 완전한 잎의 전면에 DHCL을 처리한 반면에 전해질 유출 실험의 경우 엽절편을 사용하였기 때문에, 후자의 경우 절단된 엽 조직면을 통해서 보다 많은 양의 DHCL이 세포 내로 흡수되어 약효를 발현되었기 때문에 초종 간 차이가 크게 감소된 것으로 생각된다. 이러한 사실은 까마중의 완전한

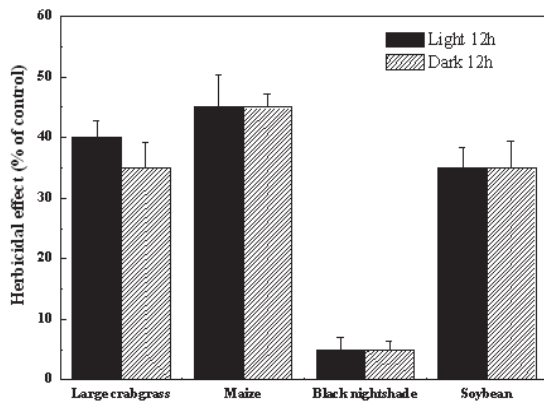


Fig. 3. Effect of light on herbicidal activity of dehydrocostus lactone (1,000 ppm) in grass and broadleaf plants.

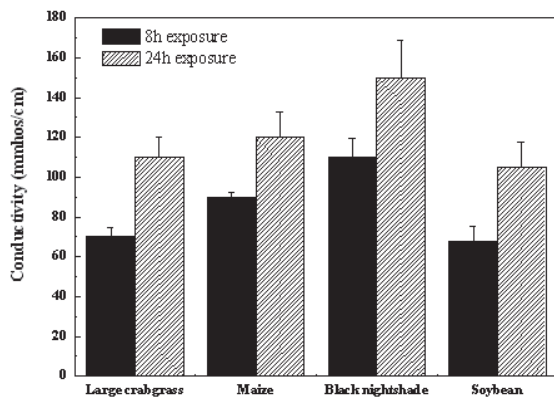


Fig. 4. Conductivity change in leaf disks of grass and broadleaf plants incubated with dehydrocostus lactone (200 ppm) at different light exposure times.

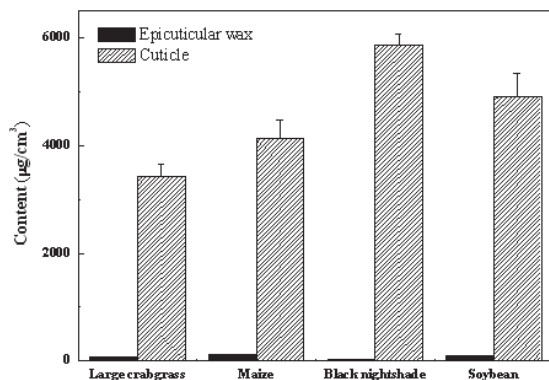


Fig. 5. Contents of epicuticular wax and cuticle in grass and broadleaf plants employed in this study.

잎 표면의 cuticle 함량이 다른 3초종의 cuticle 함량보다 높았기 때문(그림 5)에 이로 인한 엽 표면에서의 DHCL의 흡수량이 감소되어 그 결과 엽신고사 반응성이 감소되었던 것으로 생각된다.

식물 세포막에 영향을 끼쳐 살초 활성을 나타내는 제초제의 작용 기구로는 광 활성물질에 의해 발생된 독성산소에 의한 세포막 파괴와 지방산 생합성의 저해에 의한 세포막 약화에 따른 괴사 등이 알려져 있다 (Devine 등 1993). DHCL의 경우 살초발현에 광이 요구되지 않았던 사실로부터 전자에 의한 작용성 발현보다는 후자와 같은 지방산 생합성 저해에 의한 살초활성을 보일 가능성이 큰 것으로 나타났다. 즉 DHCL은 지방산 생합성 과정에 관여하는 acetyl-CoA carboxylase (ACCase)의 활성을 억제하는 것으로 나타났는데, DHCL의 저농도 처리 수준에서는 억제 증가가 완만하게 이루어지다가 DHCL 100 μ M 처리에서는 ACCase 활성이 무처리 대비 약 30%, 1,000 μ M 처리에서 약 58% 정도의 저해를 나타내었는데(그림 6), 이러한 저해 수준은 ACCase 활성 저해제로 잘 알려진 cyclohexanedione계의 sethoxydim(Rendina와 Felts 1988)에 비하면 비교적 낮은 수준으로, sethoxydim은 10 μ M 처리 농도에서 무처리 대비 약 84% 정도의 ACCase의 활성 저해를 나타내었다.

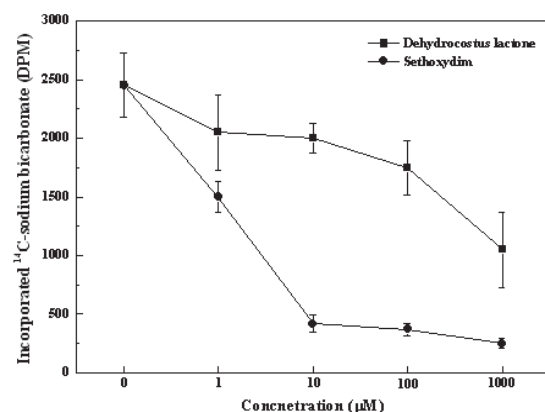


Fig. 6. Effect of sethoxydim and dehydrocostus lactone on activity of acetyl-CoA carboxylase extracted from maize leaf.

이상의 결과를 종합하면 국화과 목향 뿌리의 비극성 분획물 내의 살초 활성을 나타내는 sesquiterpene

lactone 물질은 DHCL로 동정되었으며, 이 활성물질은 식물체의 발아 및 생장억제 효과는 나타내지 않았으나, 경엽 활성으로 엽신 고사 및 세포막 파괴 등의 효과를 보였고 이러한 활성발현에 있어서 광은 요구되지 않았다. 따라서 광 활성 물질로부터 생성되는 독성산소에 의한 세포막 파괴와 같은 작용특성은 DHCL의 살초 효과 발현에서 고려될 수 없었던 반면에 지방산 생합성 관련 효소인 ACCase 활성 저해 효과에 따른 세포막 약화로 인한 엽신 괴사로 나타나는 작용기구를 보이는 것으로 생각된다.

요 약

목향(*Saussurea lappa*) 뿌리 n-hexane 추출물의 ethyl ether 분획물로부터 경엽 살초 활성을 나타내는 물질로 dehydrocostus lactone (3aS,6aR,9aR,9bS)-3,6,9-trimethylidene-3a,4,5,6a,7,8,9a,9b-octahydrozulenol[5,4-d]furan-2-one(DHCL)을 분리 동정하였다. DHCL 4,000ppm의 경엽처리 결과, 바랭이, 옥수수 및 콩에 대하여 85% 이상의 엽신 고사율을 보인 반면에 까마중에서는 약 40%의 저해율을 나타내어, 화분과 및 광엽식물 간 선택성 차이는 나타나지 않았으나, 검정식물 초종 간 반응성 차이를 나타내었다. 까마중에서의 반응성 차이는 다른 검정식물과 비교하여 까마중 잎의 비교적 높은 cuticle 함량에 의한 흡수량 감소 때문이었다. 광은 DHCL의 살초활성 발현과 관련이 없었으며, 종자 발아 및 세포 생장 억제 효과는 나타내지 않았다. DHCL 처리에 의한 엽절편의 전도도 증가 및 acetyl-CoA carboxylase의 활성 저해 효과로부터 DHCL의 살초 활성 발현은 일정 부분 지방산 생합성 저해에 따른 세포막 약화에 의해 나타날 가능성이 있는 것으로 나타났다.

인 용 문 헌

김건우, 백정규, 김진석. 2005a. 산초나무 열매로부터 살초활성 물질의 분리. 한국잡초학회지 25(3):

194-201.

김건우, 신준구, 김진석. 2002. 삼주 근경으로부터 살초활성 물질의 분리. 한국잡초학회지 25(3):194-201.

김미성, 이유선, 김희연, 최해진, 허수정, 권순배, 임상현, 김경희, 김성문. 2005b. 족도리(*Asarum sieboldii* Miq.)로부터 신규 살초활성물질 Elemicin의 분리. 한국잡초학회지 25(3):202-208.

김희연, 최해진, 김도순, 허수정, 김성문. 2003. 애기수영(*Rumex acetosella* L.)으로부터 새로운 살초활성물질 chrysophanic acid의 분리. 한국잡초학회지 23(4):301-309.

안설화, 이입충, 조광민, 김성은, 전재철. 2008. 방아풀로부터 분리한 dhelwangin의 살초 작용특성. 한국잡초학회지 28(4):406-413.

임상현, 김희연, 허수정, 김경희, 임순성, 김성문. 2007. 삼지구엽초(*Epimedium koreanum*)로부터 살초활성물질 methyl-p-hydroxybenzoate의 분리. 한국잡초학회지 27(3):235-240.

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.

Bradford, M. M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72:248-254.

Cantrell, C. L., I. S. Nunez, J. Castaneda-Acosta, M. Foroozesh, F. R. Fronczek, N. H. Fischer and S. G. Franzblau. 1998. Antimycobacterial Activities of Dehydrocostus Lactone and Its Oxidation Products. J. Nat. Prod. 61(10):1181-1186.

Devine, M., S. O. Duke and C. Fedtke. 1993. Physiology of herbicide action. P T R Prentice

- Hall, Englewood Cliffs, NJ. USA. 441 p.
- Godfrey, C. R. A. 1995. Agrochemicals from natural products. Marcel Dekker, New York. 418 p.
- Hong, J. E., E. J. Kim, S. S. Lim, H. K. Shin, J. S. Kim and J. H. Yoon Park. 2008. Dehydrocostus lactone (DHCL) isolated from the root of *Saussurea lappa* inhibits the migration and invasion of DU145 human prostate cancer cells. FASEBJ. March 2008. 22 (Meeting Abstract Suppl.) 700.40.
- Lu, T. and N. H. Fischer. 1996. Spectral data of chemical modification products of costunolide. Spectroscopy Lett. 29:437-448.
- Macias, F. A., J. C. G. Galindo, J. M. G. Molinillo and D. Castellano. 2000. Dehydrozalanin C : a potent plant growth regulator with potential use as a natural herbicide template. Phytochem. 54: 165-171.
- Maneechote, C., J. A. M. Holtum, C. Preston and S. B. Powles. 1994. Resistant acetyl-CoA carboxylase is a mechanism of herbicide resistance in a biotype *Avena sterilis* ssp. *ludoviciana*. Plant Cell Physiol. 35:627-635.
- Rendina, A. R. and J. M. Felts. 1988. Cyclohexanedione herbicides are selective and potent inhibitors of acetyl-CoA carboxylase from grasses. Plant Physiol. 86:983-986.
- Stoltenberg, D. E., J. W. Gronwald, D. L. Wyse, J. D. Burton, D. A. Somers and B. G. Gengenbach. 1989. Effect of sethoxydim and haloxyfop on acetyl coenzyme A carboxylase activity in *Festuca* species. Weed Sci. 37:512-516.
- Sun, C. W., W. J. Syu, M. J. Don, J. J. Lu and G. H. Lee. 2003. Cytotoxic sesquiterpene lactones from the root of *Saussurea lappa*. J. Nat. Prod. 66(9):1175-1180.
- Yenne, S. P. and K. K. Hatzios. 1989. Influence of oxime ether safeners and metolachlor on acetate incorporation into lipids and on acetyl-CoA carboxylase of grain sorghum. Pestic. Biochem. Physiol. 35:146-154.