

느티나무에서 단리한 카달렌 화합물에 관한 연구 II*¹ - 7-Hydroxy-3-methoxycadalene의 생물활성 측정 및 카달렌 동족체 분리 -

최준원*² · 문성희*³ · 최돈하*^{3†}

Study on Cadalene Compounds Purified from *Zelkova serrata* Wood II*¹

- Biological activities of 7-hydroxy-3-methoxycadalene and purification of cadalene homologues -

Joon-Weon Choi*² · Sung-Hee Mun*³ · Don-Ha Choi*^{3†}

요약

본 연구에서는 느티나무의 에탄올 추출액에서 7-hydroxy-3-methoxycadalene 외에 3,7-dimethoxycadalene와 7-hydroxycadalene-5,8-quinone (keyakinone A) 등 2종의 카달렌 동족체를 분리하였고, 이 중에서 7-hydroxy-3-methoxycadalene을 대상으로 hydroxyl 라디칼 소거활성과 MTT assay에 의한 세포독성을 평가하였다. 7-Hydroxy-3-methoxycadalene의 hydroxyl 라디칼 소거활성은 농도에 의존적이며, 100 ppm에서는 hydroxyl 라디칼이 거의 100% 제거되는 우수한 효과를 나타냈다. 그러나 7-hydroxy-3-methoxycadalene은 낮은 농도(1 ppm 이하)에서는 세포 생존율이 약 90% 가량으로 세포독성이 거의 나타나지 않았지만 농도가 높아질수록 세포 생존율에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 7-hydroxy-3-methoxycadalene은 4종의 느릅나무과 수종(느릅나무(*Ulmus davidiana*), 참느릅나무(*Ulmus parvifolia*), 큰잎느릅나무(*Ulmus crophylla*), 당느릅나무(*Ulmus macrocarpa*))에서는 전혀 발견되지 않았다. 느릅나무과 수종에서는 공통적으로 7-hydroxycadalene (분자량 214)으로 추정되는 화합물이 발견되었으며, 이는 느티나무에서 단리한 7-hydroxy-3-methoxycadalene에서 3번 위치의 메톡실기(OCH₃)가 이탈된 구조의 화합물이다.

*¹ 접수 2008년 5월 27일, 채택 2008년 7월 4일

*² 서울대학교 농업생명과학대학 산림과학부, Dept. Forest Science, CALS, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea

*³ 국립산림과학원 화학미생물과, Div. Wood Chemistry & Microbiology, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

† 주저자(corresponding author) : 최돈하(cdonha@forest.go.kr)

ABSTRACT

In this study 2 cadalene homologues - 3,7-dimethoxycadalene and 7-hydroxycadalene-5,8-quinone (keyakinone A)-were further identified from ethanol extracts of *Zelkova serrata* wood, except 7-hydroxy-3-methoxycadalene. Two biological activities-scavenging activity of hydroxy radical and cell toxicity by MTT assay-were measured with 7-hydroxy-3-methoxycadalene. The scavenging activity of hydroxyl radical of the compound was excellent and increased with its concentration. At 100 ppm hydroxyl radicals were removed completely. However, MTT assay revealed that 7-hydroxy-3-methoxycadalene showed critical toxicity to the cells. When 1 ppm of the compound was treated to the cells, cell viability was reached up to 90%, while it was reduced to 22% after treatment of 9 ppm. In 4 different Ulmaceae species, such as *Ulmus davidiana*, *Ulmus parvifolia*, *Ulmus macrocarpa*, *Ulmus macrophylla*, 7-hydroxy-3-methoxycadalene was not found at all. Instead, 7-hydroxycadalene (Mw 214), in which methoxyl group is omitted from 7-hydroxy-3-methoxycadalene, was distributed in the heartwood of 4 Ulmaceae species as major cadalene compound.

Keywords: *Ulmus davidiana*, *Ulmus parvifolia*, *Ulmus macrocarpa*, *Ulmus macrophylla* 7-hydroxy-3-methoxycadalene, 3,7-dimethoxycadalene, 7-hydroxycadalene-5,8-quinone, 7-hydroxycadalene, hydroxy radical, cell toxicity, MTT assay

1. 서 론

국내에 자생하는 침엽수종과 활엽수종의 심재 추출물을 대상으로 실시한 항균 및 항산화활성에 관한 연구에서 느티나무 추출액이 항세균 및 항진균 활성이 다른 수종에 비해 우수하다는 기존의 실험결과 (Lee *et al.*, 1999; 2000)와 느티나무를 비롯한 느릅나무과 수종에는 sesquiterpene류로 구분되는 '카달렌'이라는 화합물이 약리적인 효능을 나타낸다는 연구보고(Lindgren and Svahn, 1968; Overeem *et al.*, 1970; Chen *et al.*, 1972)에 근거하여 느티나무의 에탄올 추출액에서 7-hydroxy-3-methoxycadalene이라는 카달렌 화합물을 단리 하였으며, 이는 수피나 잎, 그리고 변재부에는 존재하지 않고 심재부에서만 발견된다는 사실을 확인하였다(최 등, 2008).

카달렌 화합물은 Fracheboud (1968)과 Lindgren (1968)이 느릅나무과 수종(*Ulmus rubra*)에서 추출한 나프탈렌 골격을 지닌 물질들에 대해 연구하면서 시작되었다. 이후 Suzuki (1972)와 Nishikawa (1972)는 느릅나무과에 속하는 난티나무(*Ulmus*

laciniata MAYR.)의 심재와 변재의 추출물 조성을 비교하여 심재의 *n*-hexane 추출물에서 7-hydroxycadalene과 mansonone C와 E를 분리하였다. 특히 mansonone C는 7-hydroxycadalene이 산화되어 합성되는 물질이라고 주장하였다. Overeem과 Elgersma (1970)는 *Ulmus hollandica* 심재부에서 mansonone E, mansonone F와 7-hydroxycadalene을 단리 하였으며, 이들 중에서 에틸아세테이트 조추출물로부터 분리한 mansonone E와 mansonone F는 항진균 활성을 지닌다고 보고하였다.

Burden (1984)은 3종의 병원균(*Ceratocystis ulmi*, *Chondrostereum purpureum*, *Coriulus verticillatus*)을 *U. glabra*의 가지부에 임의로 낸 상처에 접종한 후에 카달렌 화합물의 생성여부를 조사하였다. *U. glabra*의 심재부에서만 발견되던 카달렌 화합물들이 병원균을 접종한 변재부위에서도 발견되는 점으로 보아 이들 화합물은 외부 병원균에 대한 감염을 억제하기 위해 생합성이 유도된다고 보고하였다. 이러한 카달렌 화합물은 느릅나무과 수종 이외에서도 발견된 바 있다. Stipanovic (1981)는 면화 포엽(cotton

bract)에서 2,7-dihydroxycadalene과 2-hydroxy-7-methoxycadalene를, Wiart (2001)는 *Scorodocarpus borneensis* 수피부에서 cadalene- β -carboxylic acid를 각각 동정하였으며 Chen (1990)은 허브식물 일종인 *Helicteres angustifolia*에서 4종의 세스퀴테르펜류 화합물인 mansonones E, F, H와 M 을 분리 하는데 성공하였다.

본 장에서는 느티나무 심재부에서 획득한 7-hydroxy-3-methoxycadalene의 생리활성과 세포독성 측정 및 카달렌 동족체들의 단리를 시도하였다. 이와 함께 느릅나무과에 속하는 4 수종 - 느릅나무(*U. macrocarpa* Hance.) 참느릅나무(*U. parvifolia* Jacq.), 당느릅나무(*U. davidiana* Planch.)와 큰잎느릅나무(*U. macrophylla* Nak.)-에서 분리한 카달렌 화합물들에 관하여 논의하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 공시재료 및 카달렌 추출

본 실험에서 사용한 카달렌(7-hydroxy-3-methoxycadalene)은 30년생 느티나무(*Zelkova serrata* Makino)의 에탄올 추출액을 실리카겔이 충전된 칼럼크로마토그래피를 이용하여 분리 하였다(최 등, 2008).

2.2. 카달렌의 생리활성 측정

2.2.1. Hydroxy 라디칼 소거활성 측정

본 실험에서는 20 mM phosphate buffer (pH 7.4)를 표준용매로 사용하였다. 20 mM 인산완충액 (pH 7.4) 1.2 ml, 1 mM FeCl₃ 0.3 ml, 1 mM EDTA 0.3 ml, L-ascorbate 0.3 ml, 30 mM deoxyribose 용액 0.3 ml와 카달렌 0.3 ml를 시험관에 넣은 뒤 10 mM H₂O₂ 용액(buffer solution) 0.3 ml를 첨가한 후에 phosphate buffer 1.2 ml를 추가로 첨가하여 최종부피를 3 ml로 만든 후에 37°C에서 30분 동안 교반하면서 hydroxy radical의 생성 및 반응을 유도하였다. 반응 시험관에 trichloroacetic acid (TCA, 5%,

0.5 ml)를 첨가하여 반응을 정지시키고 thio-barbituric acid (TBA, 1%, 0.5 ml)용액으로 100°C에서 90분 동안 발색을 유도한 후에 530 nm에서 흡광도를 측정하였다(Kunchandy and Rao, 1990).

2.2.2. Superoxide 라디칼 소거활성 측정

카달렌의 superoxide 라디칼 소거활성 측정을 위해 hypoxanthine을 기질로 xanthine oxidase를 사용하여 superoxide 라디칼을 발생시킨 후에 생성된 라디칼을 nitroblue tetrazolium (NBT)와 반응 시킨 후에 흡광도를 측정하였다. 본 실험에서는 50 mM phosphate buffer (pH 7.4)를 표준용매로 사용하였다. 시험관에 20 μ l K₂EDTA (15 mM), 60 μ l hypoxanthine (3 mM), 50 μ l NBT (0.6 mM)와 50 μ l xanthine oxidase (1 unit/10 ml buffer)를 혼합하여 상온에서 20분 동안 반응 시킨 후에 595 nm에서 흡광도를 측정하여 superoxide 라디칼 소거활성을 아래 계산식으로 계산하였다(McCune and Johns, 2002).

$$\text{Superoxide inhibition (\%)} = [(A0-A1)/A0] \times 100$$

A0 : reaction mixture without cadalene

A1 : reaction mixture with cadalene

2.2.3. 세포독성 측정

카달렌의 세포독성은 사람 각질형성 세포주를 사용하여 MTT (microculture tetrazolium) assay 방법으로 측정하였다. 사람 각질형성 세포주인 HaCaT cell을 96-well에 적당한 양으로 깔아놓고 카달렌을 DMSO에 녹여 20 μ l MTT 용액((3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-tetrazoliumbromide)과 함께 넣은 후 37°C, 5% CO₂ 하에서 4일 동안 배양한 후 540 nm에서 흡광도를 측정하여 생성된 크리스탈의 양을 측정하였다(Florian et al., 1999).

2.3. 카달렌 동족체 분리

30년생 느티나무의 에탄올 추출액을 헥산, 디클로

로메탄과 에틸아세테이트로 각각 분획한 후에 핵산 분획물을 선택하여 HPLC로 분석을 실시하였다. 용출용액은 아세토니트릴과 물의 비율은 50 : 50에서 시작하여 아세토니트릴의 비율을 점차 높여 25분 후에는 아세토니트릴만 흘러주었다. 핵산 분획물의 HPLC 크로마토그램에 나타난 각각의 피크에 해당되는 용출용액을 시험관으로 받은 후에 prep-TLC (20 × 20 cm, Silica gel)를 이용하여 카달렌 동족체들을 정제하였다. 각각의 정제된 카달렌 동족체는 EI-MS를 이용하여 분자량을 측정하고, ¹H-NMR과 ¹³C-NMR를 이용하여 각각의 구조를 동정하였다.

2.4. 느릅나무과 수종에서 카달렌 분석

2.4.1. 공시수종

느릅나무과에 속하는 느릅나무(*Ulmus davidiana*), 참느릅나무(*Ulmus parvifolia*), 큰잎느릅나무(*Ulmus crophylla*)와 당느릅나무(*Ulmus macrocarpa*)를 공시수종으로 선택하여 카달렌 및 카달렌 동족체들을 분리하였다. 느릅나무와 참느릅나무는 경상남도 함양읍 원산리 부근에서 채취하였으며, 당느릅나무와 큰잎느릅나무는 국립산림과학원 천장산 연습림에서 채취하였다. 각 공시수종은 채취 후 길이 50 cm 단위로 절삭하여 통풍이 잘되고 그늘진 곳에서 기건 상태로 건조한 후에 심재, 변재, 수피와 잎으로 나누었다. 각 부분은 칩으로 제조한 후에 볼밀(Zirconium planetary mono mill)을 이용하여 분말화하고 60 mesh 크기로 분쇄하여 실험재료로 사용하였다.

2.4.2. 카달렌 추출 및 분석

분말상의 시료(100~500 g)를 에탄올로 24시간씩 2회 추출하였다. 에탄올 추출액은 농축기를 이용하여 감압농축 하였다. 에탄올 농축액은 핵산으로 추출한 후에 핵산 분획물을 다시 농축하였다. 최종 핵산 농축액은 소량의 메탄올로 녹인 후에 HPLC 분석 전까지 -4°C 이하에서 보관하였다.

느릅나무과 수종들의 핵산 농축액은 고성능액체 크로마토그래피(HPLC)를 이용하여 각 수종별로 카달렌 또는 카달렌 동족체들을 정성적으로 분석하였

다. HPLC 기종은 Hewlett packard 1100이며 분석용 칼럼은 Waters symmetry reverse phase column (C18: 4.6 × 250 mm)을 이용하였다. HPLC 용매는 처음 25분 동안 아세토니트릴과 물 50 : 50 (v/v)으로 혼합하여 흘러주었으며, 이후 아세토니트릴 비율을 10분 동안 100%까지 높여서 사용하였다. HPLC 크로마토그램의 각 피크에 해당되는 용출용액을 시험관으로 받은 후에 prep-TLC (20 × 20 cm, Silica gel)를 이용하여 카달렌 동족체를 정제한 후에 EI-MS (JMS-600W, JOEL)를 이용하여 분자량을 측정하고, 각 성분의 구조는 ¹H-NMR과 ¹³C-NMR (Varian, 500 MHz)를 이용하여 동정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 카달렌의 생리활성 검정

산소호흡과정에서 부산물로 발생하는 유해 활성 산소종(ROS: reactive oxygen species)이 생체 고분자의 산화를 통하여 노화 및 암발생 등 만성질환의 원인된다는 사실은 널리 알려져 있다. 느티나무 심재부 에탄올 추출물이 항산화 활성을 나타낸다는 기존의 실험결과를 근거로 카달렌이 이러한 활성을 나타내는 주요 성분인지를 판단하기 위하여 느티나무에서 단리한 카달렌 화합물인 7-hydroxy-3-methoxycadalene의 항산화 활성을 두 가지 방법 (superoxide radical과 hydroxy radical)을 통하여 검정하였다.

일반적으로 hydroxy 라디칼의 소거활성은 과산화수소와 철의 반응인 Fenton 반응에 의해 생성된 hydroxy 라디칼이 본 반응의 기질로 사용된 2-deoxyribose를 산화시키면서 생성된 malondialdehyde의 양을 미색 정량하여 과산화물 생성의 억제 정도를 평가함으로써 측정할 수 있다. 본 연구에서는 카달렌의 농도를 1 ppm에서 100 ppm까지 달리 하여 카달렌의 hydroxy 라디칼 소거활성을 평가하였다(Fig. 1). 카달렌의 hydroxy 라디칼 소거활성은 농도에 매우 의존적인 것으로 판명되었으며, 100 ppm에서는 hydroxy 라디칼은 거의 100% 이상 제거되는 것으로 보아 카달렌은 hydroxy 라디칼 소거

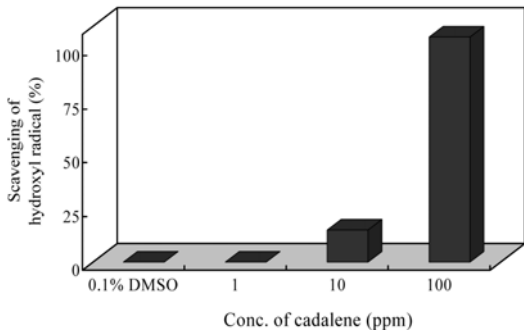


Fig. 1. Scavenging of hydroxyl radicals at different concentration of 7-hydroxy-3-methoxycadalene.

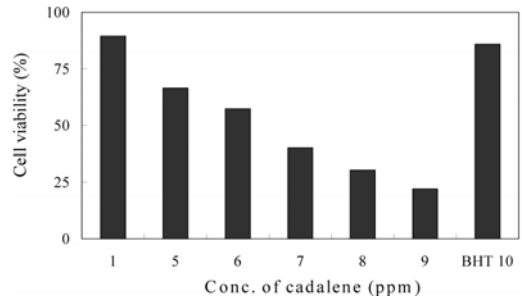


Fig. 2. Measurement of cell viability at different concentration of 7-hydroxy-3-methoxycadalene determined by MTT assay.

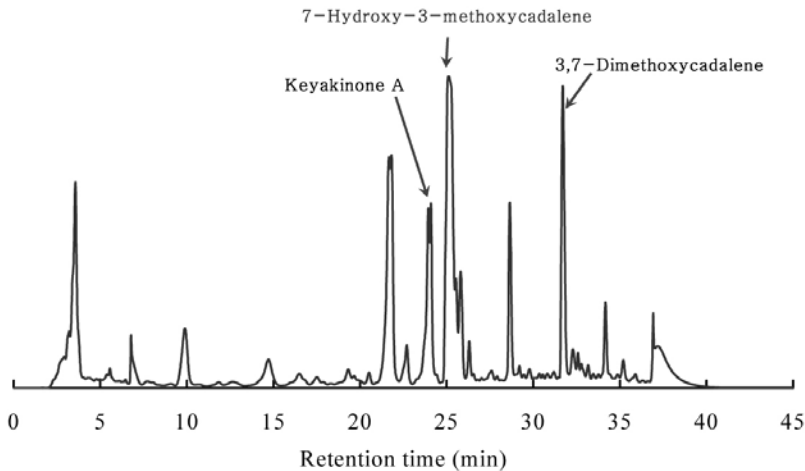


Fig. 3. HPLC chromatogram of hexane sub-fraction obtained from ethanol extract of *Zelkova serrata* wood.

활성이 매우 우수한 것으로 예측되었다. 반면, 카달렌은 superoxide 라디칼에 대한 소거활성에는 거의 효과가 없는 것으로 나타났다.

MTT assays 법은 살아있는 세포에 존재하는 미토콘드리아가 탈수소효소작용(dehydrogenases)에 의하여 노란색의 수용성 기질인 MTT (3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyl-tetrazolium bromide)를 자주색을 띠는 비수용성의 formazan 결정으로 환원시키는 능력을 이용함으로써 신속하고 정확하게 많은 양의 세포 증식거동을 측정함으로써 세

포에 미치는 독성을 측정하는 방법이다. 자주색 결정은 DMSO에 용해되고 흡광도(Optical Density)는 540 nm의 파장에서 최대가 되며, 이 파장에서 측정된 흡광도는 살아있는 세포의 수와 직선적인 상관관계를 나타내게 된다.

본 실험에서는 7-hydroxy-3-methoxycadalene의 농도를 1 ppm에서 10 ppm까지 달리하여 사람 각질세포주(HaCaT cell)에 투여한 후에 형성된 크리스탈의 양을 UV (540 nm)로 측정하여 카달렌의 세포독성 여부를 합성항산화제인 BHT를 투여 하였을

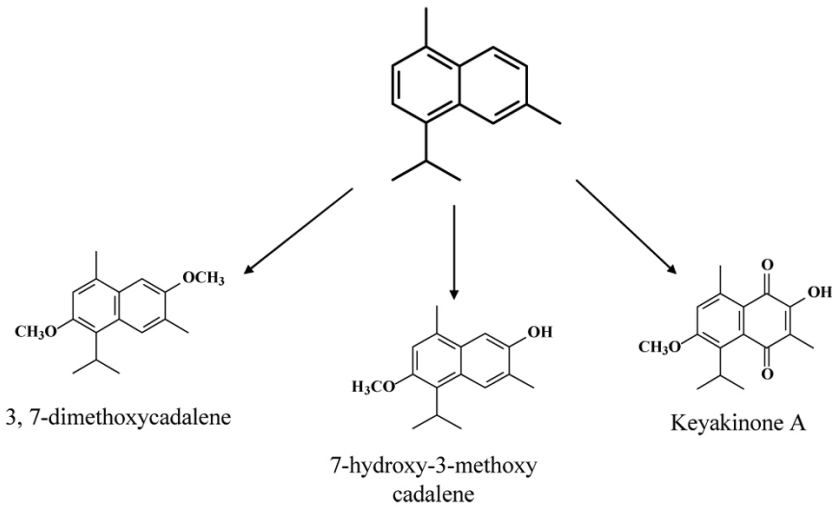


Fig. 4. Cadalene homologues identified in the ethanol extracts of *Zelkova serrata* wood.

경우와 비교하여 판단하였다(Fig. 2). 본 화합물의 농도 1 ppm 이하에서는 세포 생존율이 약 90% 가량으로 세포 독성은 거의 나타나지 않았지만 농도가 높아질수록 세포 생존율에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 실험결과에 의하면 7-hydroxy-3-methoxycadalene은 다소 낮은 농도인 6~7 ppm 부근에서 IC₅₀ 값이 측정되어 비교 대상인 BHT (농도 10 ppm)에 비해 세포 생존율에 다소 영향이 있는 것으로 평가된다.

3.2. 느티나무에서 단리한 카달렌 동족체 구조

느티나무 에탄올 추출액을 헥산으로 분획한 헥산 분획물을 HPLC로 분석한 결과에 의하면 7-hydroxy-3-methoxycadalene 이외에도 여러 종의 카달렌 동족체가 존재함을 알 수 있었으며(Fig. 3), 이 중에서 2종의 카달렌 동족체인 3,7-dimethoxycadalene와 7-hydroxycadalene-5,8-quinone를 분리하였다(Fig. 4).

3.2.1. 3,7-Dimethoxycadalene

3,7-Dimethoxycadalene은 헥산 분획물의 HPLC

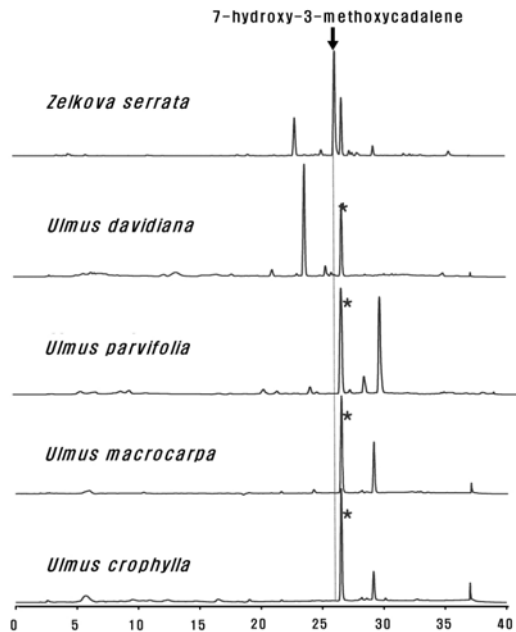


Fig. 5. HPLC chromatograms of hexane sub-fractions obtained from ethanol extracts of 5 Ulmaceae species.

크로마토그램 상에서 약 31.9 min에서 용출되며, EI-MS의 분석에 의해 이 물질의 분자량은 258. 분

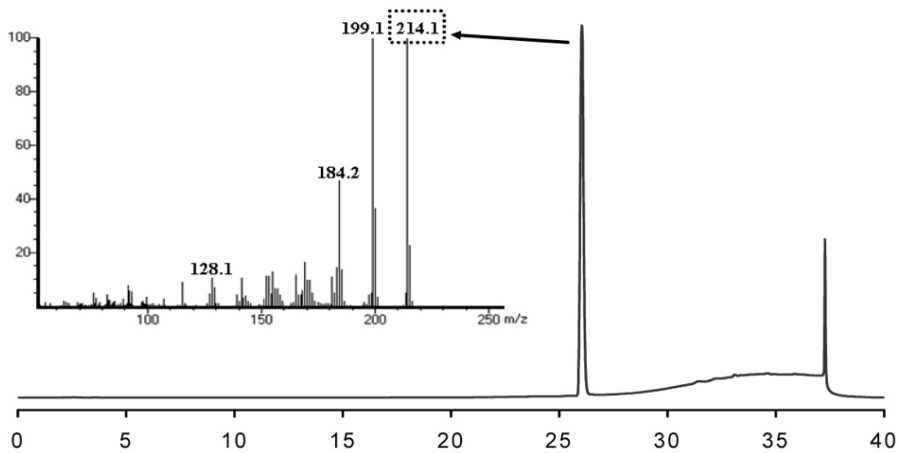


Fig. 6. HPLC chromatogram and EI-MS data of purified cadalene compound (presumably 7-hydroxycadalene) eluted at 26 min.

자식은 $C_{17}H_{22}O_2$ 로 나타났다. 실리카겔 TLC에서 3,7-dimethoxycadalene의 Rf 값은 hexane-EtOAc (9 : 1, v/v)에서 약 0.7로 나타났으며, 분취용 TLC (20 × 20 cm, 실리카겔) 분리의 용매조건은 hexane-EtOAc (8 : 2, v/v)로 하였다. 화합물 3,7-dimethoxycadalene의 결정은 무색으로 투명한 빛을 띠고 있다.

1H -NMR spectrum (500 MHz, δ , Methanol- d_4) : δ 1.42 (3H, s, H-14), 1.44 (3H, s, H-13), 2.36 (3H, d, 0.1 Hz, H-12), 2.62 (3H, d, 0.1 Hz, H-11), 3.88 (3H, s, OCH₃), 3.94 (3H, s, OCH₃), 7.10 (1H, s, H-8), 7.16 (1H, s, H-5), 7.88 (1H, s, H-2).

^{13}C -NMR spectrum (125 MHz, δ , Methanol- d_4) : δ 17.34 (s, CH₃), 19.93 (s, CH₃), 21.97 (m, C-14, 15), 24.20 (s, C-13), 57.20 (s, OCH₃), 102.75 (s, C-8), 116.74 (s, C-2), 129.16 (s, C-9), 156.03 (s, C-3).

3.2.2. 7-Hydroxycadalene-5,8-quinone

7-Hydroxycadalene-5,8-quinone은 keyakinone A라고도 불리며, 헥산 분획물의 HPLC 크로마토그램 상에서 약 24.7 min 대에서 검출되며 진한 오렌지색 빛을 띤 결정으로 특이한 향을 발산한다. 실리

카겔 TLC에서 이 화합물의 Rf 값은 hexane-propanol (8 : 1, v/v)에서 약 0.7로 나타났으며, 분취용 TLC (20 × 20 cm, 실리카겔) 분리의 용매조건은 hexane-propanol (7 : 3, v/v)로 하였다. EI-MS에 의한 분석 결과 분자량은 274이며 분자식은 $C_{16}H_{18}O_4$ 로 나타났다.

1H -NMR spectrum (500 MHz, δ , Methanol- d_4) : δ 1.38 (6H, t, 3.0 Hz, H-14, 15), 2.02 (3H, d, 3.5 Hz, CH₃), 2.61 (3H, s, CH₃), 3.93 (3H, s, OCH₃), 6.82 (1H, s, H-13), 7.88 (1H, d, 1.5 Hz, H-2).

^{13}C -NMR spectrum (125 MHz, δ , Methanol- d_4) : δ 15.76 (s, CH₃), 21.56 (s, C-14, 15), 23.90 (s, CH₃), 56.12 (s, OCH₃), 116.38 (s, CH₃), 140.16 (s, CH₃), 181.59 (s, C=O), 183.47 (s, C=O).

3.3. 느릅나무과 수종에서 카달렌 검정

느릅나무과 수종인 당느릅나무, 큰잎느릅나무, 참느릅나무와 느릅나무에서 획득한 에탄올 추출액을 헥산으로 분획한 후에 HPLC를 이용하여 카달렌 화합물을 분석하였다. Fig. 5에서 보듯이 4종의 느릅나무과 수종에서 획득한 헥산 분획물의 HPLC chromatogram에서는 느티나무에서 단리한 7-hy-

droxy-3-methoxycadalene에 해당되는 피크가 전혀 나타나지 않았다. 대신 4종의 느릅나무과 수종의 에탄올 추출액에서 분획한 핵산 분획물의 HPLC 크로마토그램 상에서 약 26분대에 공통적인 피크가 발견되었다. 이 피크를 prep-HPLC와 TLC를 이용하여 순수한 상태로 분리한 후 EI-MS (JMS-600W, JOEL)로 분자량을 측정한 결과, 분자량이 214 m/z 로 7-hydroxy-3-methoxycadalene의 3번 위치에 부착된 메톡실기가 부재된 7-hydroxycadalene로 잠정적으로 추정되며(Fig. 6), 이에 관한 정확한 구조분석은 수행 중에 있다. 4종의 느릅나무과 수종에서 단리한 7-Hydroxycadalene도 느티나무에서 발견된 카달렌과 마찬가지로 각 수종의 심재부분에서만 발견되었으며, 이는 7-hydroxy-3-methoxycadalene과 마찬가지로 느릅나무과 수종의 방사조직세포에서 생합성되어 심재부로 이동하는 전형적인 느릅나무과 수종의 심재형성물질로 추정된다.

4. 결 론

느티나무 심재부에서 단리한 7-hydroxy-3-methoxycadalene은 우수한 hydroxyl 라디칼 소거활성과 동시에 세포독성도 나타났다. 위 화합물의 hydroxyl 라디칼 소거활성은 농도 의존적이었으며, 카달렌 농도 약 100 ppm에서 hydroxyl 라디칼은 거의 100% 제거되었다. 반면, 카달렌 농도가 높아지면서 세포 생존율은 크게 낮아지는 경향을 보였다.

느티나무 에탄올 조추출액에서 획득한 핵산 분획물에서 7-hydroxy-3-methoxycadalene과 화학적 구조가 유사한 2종의 화합물 -3,7-dimethoxycadalene과 7-hydroxycadalene-5,8-quinone-을 단리하였다. 4종의 느릅나무(느릅나무(*Ulmus davidiana*), 참느릅나무(*Ulmus parvifolia*), 큰잎느릅나무(*Ulmus crophylla*)와 당느릅나무(*Ulmus macrocarpa*))에서는 7-hydroxy-3-methoxycadalene이 전혀 발견되지 않았지만, 이 화합물의 3번 위치에 존재하는 메톡실기가 이탈한 7-hydroxycadalene으로 추정되는 화합물이 공통적으로 발견되었다.

사 사

본 연구는 농림부의 농림기술개발사업 지원에 의해 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 최준원, 문성희, 최돈하. 2008. 느티나무에서 단리한 카달렌 화합물에 관한 연구 I. 7-hydroxy-3-methoxycadalene 단리 및 목부 내 분포. 목재공학. (논문투고 중)
2. Burden, R. S. and M. S. Kemp. 1984. Sesquiterpene phytoalexins from *Ulmus Glabra*. *Phytochemistry* 23: 383~385.
3. Chen, C. M., Z. T. Chen, and Y. L. Hong. 1990. A mansonone from *Hlicteres angustifolia*. *Phytochemistry*. 29: 980~982.
4. Chen, F. A., Y. M. Lin, and A. H. Chen. 1972. Sesquiterpenes from the heartwood of chinese elm. *Phytochemistry* 11: 1990~1991.
5. Florian M., C. A. Freimoser, M. A. Jacob, and U. Tuor. 1999. The MTT [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide] assay is a fast and reliable method for colorimetric determination of fungal cell densities. *Applied and environmental microbiology* 65: 3727~3729.
6. Fracheboud, M., J. W. Rowe, R. W. Scott, S. M. Fanega, A. J. Buhl, and J. K. Toda. 1968. New sesquiterpenes from yellow wood of slippery elm. *Forest Products Journal*. 18: 37~40.
7. Kunchandy, E. and M. N. A. Rao. 1990. Oxygen radical scavenging activity of curcumin. *International journal of pharmaceutics*. 58: 237~240.
8. Lee, S. S., H. J. Lee, H. Y. Kang, and D. H. Choi. 1999. Studies on biological activity of wood extractives (I): antimicrobial and antioxidative activity of heartwood extractives. *KFRI Journal of Forest Science* 61: 82~89.
9. Lee, S. S., H. J. Lee, H. Y. Kang, and D. H. Choi. 2000. Studies on biological activity of wood extractives (II): antimicrobial and antioxidative activity of heart wood extractives. *Mokchae Konghak* 28: 32~41.
10. Lindgren, B. O. and C. M. Svahn. 1968. Extractives of elm wood. *Phytochemistry* 7: 1407~1408.
11. McCune, L. and T. Johns. 2002. Antioxidant activ-

- ity in medicinal plants associated with the symptoms of diabetes mellitus used by the indigenous peoples of the north american boreal forest. *Journal of Ethnopharmacology* 82: 197~205.
12. Nishikawa, K., S. Yasuda, and M. Hanzawa. 1972. The extractives of Ohyonire, *Ulmus laciniata* MAYR. II. The isolation of 7-Hydroxycadalene, Lacinilene A, Scopoletin and Vanillic acid from the Sapwood. *Mokuzai Gakkaishi* 18: 471~474.
 13. Overeem, J. C. and D. M. Elgersma. 1970. Accumulation of mansonones E and F in *Ulmus hollandica* infected with *Ceratostis Ulmi*. *Phytochemistry* 9: 1949~1952.
 14. Stipanovic, R. D., G. A. Greenblatt, R. C. Beier, and A. A. Bell. 1981. 2-Hydroxy-7-methoxycadalene. The precursor of lacinilene C 7-methyl ether in *Gossypium*. *Phytochemistry* 20: 7298~730.
 15. Suzuki, H., S. Yasuda, and M. Hanzawa. 1972. The extractives of Ohyonire, *Ulmus laciniata* MAYR. I. The isolation of 7-hydroxycadalene, Mansonone C and E, and Lacinilene A and B from the heartwood. *Mokuzai Gakkaishi* 18: 37~40.
 16. Wiart, C., M. T. Martin, K. Awang, N. Hue, L. Serani, O. Laprevote, M. Pais, and M. Rhamani. 2001. Sesquiterpenes and alkaloids from *Scorodocarpus borneensis*. *Phytochemistry* 58: 653~656.