

산초(*Zanthoxylum schinifolium*) 열매 종자와 과피의 성분 비교

김세정¹ · 이학현¹ · 송인서¹ · 김지아^{2*} · 김현준² · 황방연¹ · 이미경^{1*}¹충북대학교 약학대학, ²국립산림과학원 산림약용자원연구소

Comparative Study on the Chemical Constituents of the Seed and Pericarp of *Zanthoxylum schinifolium* Fruit

Se Jeong Kim¹, Hak Hyun Lee¹, Inseo Song¹, Ji Ah Kim^{2*}, Hyun-Jun Kim²,
Bang Yeon Hwang¹, and Mi Kyeong Lee^{1*}¹College of Pharmacy, Chungbuk National University, Cheongju 28160, Korea²Forest Medicinal Resources Research Center, National Institute of Forest Science, Yeongju 36040, Korea

Abstract – The fruit of *Zanthoxylum schinifolium* has been widely used as a spice and traditional medicine. In this study, the chemical constituents of the seed and pericarp of *Z. schinifolium* fruit were comparatively investigated to elucidate their part-specific characteristics. A total of eight compounds were isolated through chromatographic separation and identified using spectroscopic analyses as 2,4,6-trihydroxyacetophenone-6-*O*-glycoside (1), hesperidin (2), scoparone (3), bergapten (4), schinifoline (5), peroxy-schinilenol (6), peroxy-schinallyl (7), and collinin (8). Quantitative analysis revealed that compounds 1 and 2 were mainly distributed in the seed, whereas compounds 4–8 were predominantly detected in the pericarp. In contrast, compound 3 was present in comparable amounts in both parts. These results demonstrated distinct distribution patterns of secondary metabolites in *Z. schinifolium* fruit, with phenolic and flavonoid compounds enriched in the seed and coumarins and alkaloids enriched in the pericarp. Compounds 1 and 2 were identified as characteristic constituents of the seed, whereas compounds 4–8 were characteristic constituents of the pericarp. Compound 3 was commonly distributed in both parts. This study provides fundamental insights into the part-specific chemical composition of *Z. schinifolium* fruit and may contribute to a better understanding of the differentiated utilization of its seed and pericarp.

Keywords – *Zanthoxylum schinifolium*, Seed, Pericarp, Chemical constituents, Quantitative analysis, Marker compounds

산초(*Zanthoxylum schinifolium* Siebold & Zucc.)는 운향과(Rutaceae)에 속하는 낙엽성 관목으로, 우리나라를 비롯한 동아시아 지역에서 널리 분포하며 열매는 향신료 및 생약으로 오랫동안 이용되어 왔다.¹⁾ 산초 열매는 특유의 향과 매운 맛을 지니고 있어 식품의 풍미 증진과 비린내 제거에 사용될 뿐만 아니라, 전통적으로 소화 촉진, 복통 완화 및 항균 등의 목적으로도 활용되어 왔다.²⁾ 이러한 약용적·식품학적 중요성과 활용 가치로 인해 산초의 화학성분 및 생리활성에 대한 연구가 지속적으로 수행되어 왔다.³⁾

기존 연구에 따르면 산초 열매에는 coumarin 계열 화합물과 알칼로이드가 주요 이차대사산물로 보고되어 있으며, 항염, 항균 및 혈관 확장 등 다양한 생리활성과 관련이 있는 것

으로 알려져 있다.^{4,6)} 그러나 지금까지의 성분 연구는 주로 산초 열매 전체 또는 과피(pericarp)를 대상으로 수행되었다. 일반적으로 식물에서 과피와 종자는 생리적 기능이 상이한 조직으로 알려져 있다. 과피는 열매의 외부를 구성하는 조직으로서 향기 및 방어 기능과 관련된 이차대사산물이 축적되는 반면, 종자는 발아와 생존을 위한 저장 기관으로서 영양 성분 및 항산화 물질이 풍부한 것으로 보고되고 있다.^{7,9)} 그러나 산초의 경우 과피와 종자를 명확히 구분하여 화학성분을 비교·분석한 연구는 매우 제한적인 실정이다.³⁾

산초 열매는 실제로 향신료, 약용 소재 및 기능성 원료로 활용되는 과정에서 과피와 종자가 혼합된 형태로 사용되는 경우가 많으며, 최근에는 종자를 이용한 식용유 제조와 과피를 이용한 향신료 및 기능성 소재 개발 등 부위별 활용 가능성에 대한 관심이 증가하고 있다.¹⁰⁻¹²⁾ 따라서 과피와 종자를 구분한 성분 비교 연구는 산초 열매의 화학적 특성을 보다

*교신저자(E-mail): mkleee@chungbuk.ac.kr, jahkim@korea.kr
(Tel): +82-43-261-2818

정밀하게 이해하고, 각 부위의 특성과 활용 가능성을 규명하기 위한 기초 자료로서 중요한 의미를 갖는다.

이에 본 연구에서는 산초 열매를 과피와 종자로 분리하여 각각의 성분을 분리·동정하고, 부위별 성분 분포 특성을 비교함과 동시에 주요 화합물의 함량을 분석하였다. 이를 통해 과피와 종자에 공통적으로 존재하는 성분과 부위 특이적으로 분포하는 성분을 규명하고, 산초 열매의 부위별 화학적 특성을 평가하고자 하였다. 본 연구 결과는 산초 열매의 부위별 화학적 특성에 대한 이해를 확장하고, 향후 산초 자원의 차별적 활용과 기능성 연구를 위한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

재료 및 방법

산초 시료의 확보 – 종자와 과피가 분리된 산초(*Zanthoxylum schinifolium* Siebold & Zucc.) 열매를 국립산림과학원으로 부터 제공받아 실험에 사용하였다. 시료는 분석 전까지 냉암소에 보관하였다.

추출 및 화합물 분리 – 건조한 산초 열매의 종자(80 g)를 실온에서 1 L의 메탄올로 2회 반복 추출하여 얻은 추출물을 감압 농축하여 메탄올 추출물(6.8 g)을 얻었다. 얻어진 메탄올 추출물을 증류수에 현탁시킨 후, CH_2Cl_2 , EtOAc 및 *n*-BuOH로 용매의 극성을 높여가며 분획을 실시하여 각각 CH_2Cl_2 (5.4 g), EtOAc (0.4 g) 및 *n*-BuOH (0.2 g) 분획을 얻었다.

종자의 *n*-BuOH 분획을 CH_2Cl_2 :MeOH (1:1)을 이동상으로 Sephadex LH-20 컬럼 크로마토그래피를 수행하여 총 10개의 소분획(ZSB1 – ZSB10)으로 구분하였다. 그중 소분획 ZSB4에 대하여 Phenomenex Gemini-NX C18 column (110 Å, 10 × 150 mm)을 사용하여 semi-preparative HPLC (Acetonitrile:H₂O = 20:80)를 수행하여 화합물 **1** (2.0 mg)을 분리하였다. 소분획 ZSB3에 대해 semi-preparative HPLC (Acetonitrile:H₂O = 22:78)를 수행하여 화합물 **2** (1.4 mg)를 분리하였다. 또한 종자의 CH_2Cl_2 분획을 *n*-hexane: CH_2Cl_2 및 MeOH (10:10:1)을 이동상으로 Sephadex LH-20 컬럼 크로마토그래피를 수행하여 총 9개의 소분획(ZSM1 – ZSM9)으로 구분하였으며 소분획 ZSM2를 semi-preparative HPLC (Acetonitrile:H₂O = 85:15)를 수행하여 화합물 **8** (1.4 mg)을 분리하였다.

건조한 산초 열매의 과피(250 g) 또한 종자와 동일하게 추출 및 분획을 진행하여 각각 CH_2Cl_2 (14.1 g), EtOAc (0.4 g), *n*-BuOH (1.2 g) 분획을 얻었다.

과피의 CH_2Cl_2 분획물을 silica gel MPLC (CH_2Cl_2 :MeOH = 100:0 → 0:100, gradient)를 수행하여 총 5개의 분획(ZSPM1 – ZSPM5)으로 나누었다. 소분획 ZSPM1을 *n*-hexane: CH_2Cl_2 :MeOH (1:1:1)을 이동상으로 Sephadex LH-20 컬럼 크로마토그래피를 수행하여 총 7개의 소분획(ZSPM1A – ZSPM1G)으로 나누었으며 ZSPM1G로부터 화합물 **4** (5.8 mg)를 얻었다.

또한 소분획 ZSPM1C에 대해 semi-preparative HPLC (Acetonitrile:H₂O = 45:55)를 수행하여 화합물 **6** (4.6 mg)과 화합물 **7** (2.7 mg)을 분리하였다. 소분획 ZSPM3는 *n*-hexane: CH_2Cl_2 :MeOH (1:1:1)을 이동상으로 Sephadex LH-20 컬럼 크로마토그래피를 수행하여 총 8개의 소분획(ZSPM3A – ZSPM3H)으로 나누었으며 ZSPM3C를 semi-preparative HPLC (Acetonitrile:H₂O = 55:45)를 수행하여 화합물 **3** (2.5 mg)을 분리하였다. 또한 소분획 ZSPM5를 *n*-hexane: CH_2Cl_2 :MeOH (10:10:1)을 이동상으로 Sephadex LH-20 컬럼 크로마토그래피를 수행하여 총 7개의 소분획(ZSP-M5A ~ ZSP-M5G)으로 나누었다. 소분획 ZSPM5B에 대해 *n*-hexane: CH_2Cl_2 :MeOH (10:10:1)을 이동상으로 Sephadex LH-20 컬럼 크로마토그래피를 수행하여 총 5개의 소분획(ZSPM5B1 – ZSPM5B5)으로 나누었으며 ZSPM5B2에 대해 semi-preparative HPLC (Acetonitrile:H₂O = 45:55)를 수행하여 화합물 **5** (4.6 mg)을 분리하였다.

2,4,6-Trihydroxyacetophenone-6-O-glycoside (1) – Yellow syrup; UV (MeOH) λ_{max} 221, 284 nm; HR-ESI-FT-MS m/z 353.0843 [M+Na]⁺ (calcd. C₁₄H₁₈O₉Na, 353.0843); ¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD): δ 6.44 (1H, d, J =2.2 Hz, H-5), 6.18 (1H, d, J =2.2 Hz, H-7), 5.02 (1H, d, J =7.6 Hz, H-1'), 3.93 (1H, dd, J =11.8, 1.9 Hz, H-6'a), 3.72 (1H, dd, J =11.8, 5.1 Hz, H-6'b), 3.55–3.38 (4H, m, H-2', H-3', H-4', H-5'), 2.69 (3H, s, H-1); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD): δ 204.8 (C-2), 167.8 (C-8), 166.3 (C-4), 162.7 (C-6), 106.8 (C-3), 102.1 (C-1'), 98.2 (C-7), 95.4 (C-5), 78.4 (C-5'), 77.0 (C-3'), 74.8 (C-2'), 69.4 (C-4'), 60.4 (C-6'), 33.5 (C-1).

Hesperidin (2) – Light yellow amorphous powder; UV (MeOH) λ_{max} 284 nm; HR-ESI-MS m/z 611.1966 [M+H]⁺ (calcd. C₂₈H₃₅O₁₅, 611.1970); ¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD): δ 6.97 (1H, br s, H-2'), 6.94 (2H, m, H-5', H-6'), 6.20–6.19 (2H, m, H-6, H-8), 5.41 (1H, dd, J =12.4, 3.0 Hz, H-2), 4.94 (1H, d, J =7.4 Hz, H-1''), 4.69 (1H, d, J =1.5 Hz, H-1'''), 4.00 (1H, d, J =9.4 Hz, H-6''a), 3.86 (3H, s, OCH₃), 3.69–3.58 (6H, m, H-2'', H-4'', H-5''), 3.69–3.58 (6H, m, H-3''', H-4''', H-5'''), 3.49 (1H, q, J =1.6 Hz, H-2'''), 3.45–3.42 (2H, m, H-3'''), 3.37 (1H, d, J =9.4 Hz, H-6''b), 3.13 (1H, m, H-3a), 2.79 (1H, dd, J =17.1, 3.2 Hz, H-3b), 1.19 (3H, d, J =6.2 Hz, CH₃).

Scoparone (3) – Pale yellow needles; UV (MeOH) λ_{max} 230, 295, 343 nm; HR-ESI-MS m/z 207.0650 [M+H]⁺ (calcd. C₁₁H₁₁O₄, 207.0652); ¹H-NMR (400 MHz, CD₃OD): δ 7.88 (1H, d, J =9.2 Hz, H-4), 7.13 (1H, brs, H-5), 6.98 (1H, br s, H-8), 6.26 (1H, d, J =9.2 Hz, H-3), 3.92 (3H, s, OCH₃), 3.88 (3H, s, OCH₃); ¹³C-NMR (100 MHz, CD₃OD): δ 162.4 (C-2), 153.4 (C-8a), 149.9 (C-7), 146.7 (C-6), 144.5 (C-4), 112.1 (C-5), 111.7 (C-4a), 108.5 (C-3), 99.6 (C-8), 55.5 (OCH₃), 55.4 (OCH₃).

Bergapten (4) – White needles; UV (MeOH) $\lambda_{\max}$ 222, 250, 267, 309 nm; HR-ESI-MS m/z 217.0493 $[M+H]^+$ (calcd. $C_{12}H_8O_4$, 217.0495); 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 8.15 (1H, d, $J=9.8$ Hz, H-4), 7.59 (1H, d, $J=2.4$ Hz, H-9), 7.13 (1H, brs, H-8), 7.02 (1H, dd, $J=2.4, 0.9$ Hz, H-10), 6.27 (1H, d, $J=9.8$ Hz, H-3), 4.27 (3H, s, OCH_3); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$): δ 161.3 (C-2), 158.4 (C-7), 152.7 (C-8a), 149.6 (C-5), 144.8 (C-9), 139.3 (C-4), 112.7 (C-6), 112.5 (C-3), 106.4 (C-4a), 105.0 (C-10), 93.9 (C-8), 60.1 (OCH_3).

Schinifoline (5) – Light yellow syrup; UV (MeOH) $\lambda_{\max}$ 213, 234, 240 nm; HR-ESI-MS m/z 258.1850 $[M+H]^+$ (calcd. $C_{17}H_{24}ON$, 258.1852); 1H -NMR (400 MHz, $CDCl_3$): δ 8.44 (1H, dd, $J=8.0, 1.2$ Hz, H-5), 7.65 (1H, br t, $J=7.9$ Hz, H-7), 7.50 (1H, br d, $J=8.9$ Hz, H-8), 7.36 (1H, t, $J=7.6$ Hz, H-6), 6.23 (1H, s, H-3), 3.73 (3H, s, N-Me), 2.70 (2H, t, $J=7.7$ Hz, H-1'), 1.68 (2H, q, $J=7.2$ Hz, H-2'), 1.43 (2H, m, H-3'), 1.36–1.28 (6H, m, H-4', H-5', H-6'), 0.89 (3H, t, $J=6.5$ Hz, H-7'); ^{13}C -NMR (100 MHz, $CDCl_3$): δ 177.9 (C-4), 154.8 (C-2), 141.9 (C-10), 132.0 (C-7), 126.6 (C-5), 126.5 (C-9), 123.3 (C-6), 115.4 (C-8), 111.1 (C-3), 34.8 (C-1'), 34.1 (N-Me), 31.7 (C-5'), 29.2 (C-3'), 29.0 (C-4'), 28.6 (C-2'), 22.6 (C-6'), 14.1 (C-7').

Peroxyschinilenol (6) – Yellow syrup; UV (MeOH) $\lambda_{\max}$ 257, 321 nm; HR-ESI-MS m/z 383.1463 $[M+Na]^+$ (calcd. $C_{20}H_{24}O_6Na$, 383.1465); 1H -NMR (400 MHz, CD_3OD): δ 7.89 (1H, d, $J=9.6$ Hz, H-4), 7.34 (1H, d, $J=8.4$ Hz, H-5), 7.07 (1H, d, $J=8.8$ Hz, H-6), 6.27 (1H, d, $J=9.6$ Hz, H-3), 5.70–5.61 (2H, m, H-5', H-6'), 5.58 (1H, t, $J=6.7$ Hz, H-2'), 4.76 (2H, d, $J=6.8$ Hz, H-1'), 3.94 (3H, s, OCH_3), 2.82 (2H, d, $J=4.8$ Hz, H-4'), 1.79 (3H, s, H-10'), 1.30 (6H, s, H-8', H-9'); ^{13}C -NMR (100 MHz, CD_3OD): δ 160.9 (C-2), 154.5 (C-7), 147.2 (C-8a), 144.1 (C-4), 140.1 (C-3'), 135.9 (C-6'), 135.7 (C-8), 126.4 (C-5'), 122.6 (C-5), 119.2 (C-2'), 113.2 (C-4a), 111.7 (C-3), 110.0 (C-6), 80.4 (C-7'), 65.2 (C-1'), 59.7 (OCH_3), 41.3 (C-4'), 22.9 (C-8', C-9'), 14.8 (C-10').

Peroxyschinallyl (7) – Yellow syrup; UV (MeOH) $\lambda_{\max}$ 257, 319 nm; HR-ESI-MS m/z 383.1464 $[M+Na]^+$ (calcd. $C_{20}H_{24}O_6Na$, 383.1465); 1H -NMR (400 MHz, CD_3OD): δ 7.86 (1H, dd, $J=9.2, 2.0$ Hz, H-4), 7.31 (1H, dd, $J=8.8, 2.4$ Hz, H-5), 7.05 (1H, dd, $J=8.8, 2.4$ Hz, H-6), 6.25 (1H, dd, $J=9.6, 1.2$ Hz, H-3), 5.53 (1H, t, $J=6.4$ Hz, H-2'), 4.93 (1H, s, H-8'), 4.90 (1H, s, H-8'), 4.73 (2H, d, $J=6.4$ Hz, H-1'), 4.20 (1H, t, $J=6.8$ Hz, H-6'), 3.92 (3H, s, OCH_3), 2.11 (2H, t, $J=7.6$ Hz, H-4'), 1.78 (3H, s, H-10'), 1.71 (3H, s, H-9'), 1.57 (1H, m, H-5'), 1.45 (1H, m, H-5'); ^{13}C -NMR (100 MHz, CD_3OD): δ 162.9 (C-2), 156.5 (C-7), 149.3 (C-8a), 145.8 (C-3'), 145.7

(C-4), 146.1 (C-7'), 137.7 (C-8), 124.6 (C-5), 120.9 (C-2'), 115.2 (C-4a), 114.3 (C-8'), 113.7 (C-3), 112.0 (C-6), 89.6 (C-6'), 67.2 (C-1'), 61.7 (OCH_3), 36.5 (C-4'), 30.0 (C-5'), 17.2 (C-9'), 16.7 (C-10').

Collinin (8) – Colorless syrup; UV (MeOH) $\lambda_{\max}$ 257, 318 nm; HR-ESI-MS m/z 351.1573 $[M+Na]^+$ (calcd. $C_{20}H_{24}O_4Na$, 351.1567); 1H -NMR (400 MHz, CD_3OD): δ 7.86 (1H, dd, $J=9.2, 2.0$ Hz, H-4), 7.31 (1H, dd, $J=8.8, 2.4$ Hz, H-5), 7.05 (1H, dd, $J=8.8, 2.4$ Hz, H-6), 6.25 (1H, dd, $J=9.6, 1.2$ Hz, H-3), 5.53 (1H, t, $J=6.4$ Hz, H-2'), 4.93 (1H, s, H-8'), 4.90 (1H, s, H-8'), 4.73 (2H, d, $J=6.4$ Hz, H-1'), 4.20 (1H, t, $J=6.8$ Hz, H-6'), 3.92 (3H, s, OCH_3), 2.11 (2H, t, $J=7.6$ Hz, H-4'), 1.57 (1H, m, H-5'), 1.45 (1H, m, H-5'), 1.78 (3H, s, H-10'), 1.71 (3H, s, H-9').

함량 분석 – 분쇄한 산초 열매의 종자와 과피 각각 100 mg에 메탄올 1 mL를 가하여 실온에서 90분 동안 초음파 추출하였다. 추출물을 원심분리한 후 상등액을 0.45 μ m PTFE 필터로 여과하여 HPLC 분석에 사용하였다. 실험에 사용된 장비는 Waters Alliance 2695 separations module, 996 photodiode array detector 및 Waters Empower 소프트웨어가 장착된 Waters HPLC system을 사용하였으며, 분석에 사용된 컬럼은 Phenomenex Gemini-NX C18 column (110 Å, 10 × 150 mm)을 사용하였다.¹³⁾ 이동상은 용매 A (acetonitrile)와 용매 B (H_2O)를 사용하였으며, A:B = 10:90에서 100:0까지 45분 동안 gradient 조건으로 수행한 후, 45분에서 60분까지는 A 100% 조건으로 유지하였다. 유속은 2.0 mL/min으로 설정하였고, UV 검출 파장은 220 nm로 설정하여 정량하였다. 검량선은 분리·정제한 화합물을 이용하여 작성하였다.

결과 및 고찰

산초 열매 종자 및 과피의 크로마토그램 분석 – 산초 열매의 종자와 과피 간 성분의 차이를 확인하기 위하여 각 부위의 추출물을 대상으로 HPLC 분석을 수행하였다. 그 결과, 종자와 과피 간에 성분 및 함량에 대해 뚜렷한 차이를 나타내었다(Fig. 1). 이러한 결과는 두 부위 간 성분의 규명 및 함량에 대한 연구가 필요함을 시사하며 이에 따라 종자 및 과피로부터 화합물 분리를 수행하였다.

화합물의 분리 및 구조 규명 – 산초 열매의 종자 및 과피로부터 각각 추출물을 제조한 후, 반복적인 컬럼 크로마토그래피를 통해 총 8종의 화합물을 분리·정제하였다. 분리된 화합물의 구조 규명을 위하여 1H NMR, ^{13}C NMR 및 HSQC, HMBC 분석과 질량분석(MS)을 수행하였으며 분리한 화합물의 분광학적 데이터를 기존 문헌¹⁴⁻²⁰⁾과 비교하여 그 구조를 2,4,6-trihydroxyacetophenone-6-O-glycoside (1), hesperidin (2), scoparone (3), bergapten (4), schinifoline (5), peroxyschinilenol

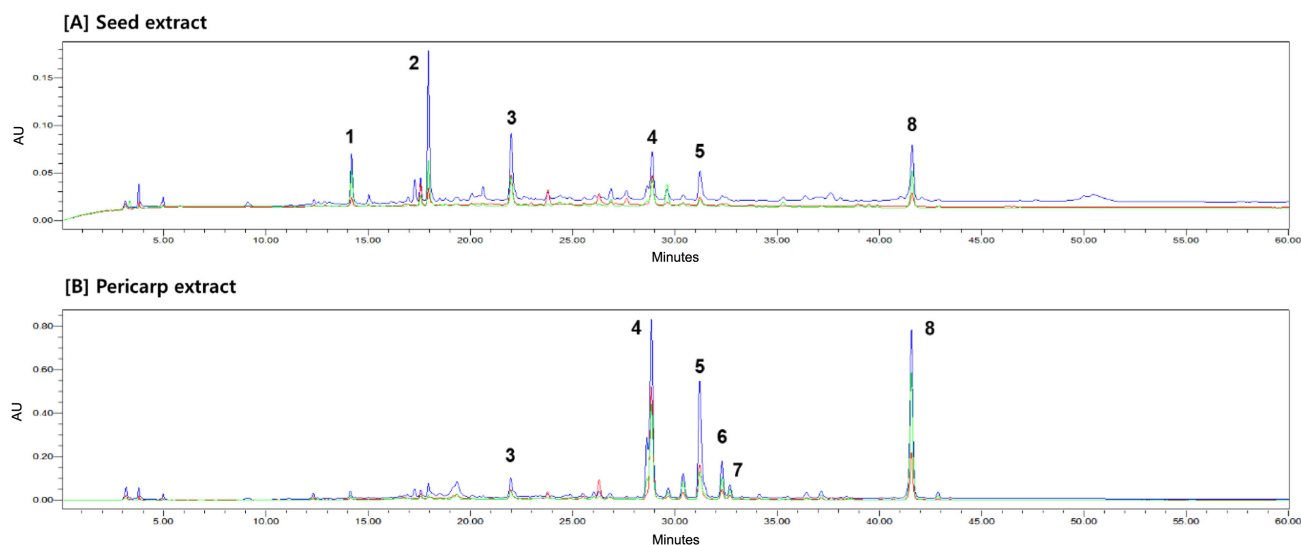


Fig. 1. HPLC chromatogram of [A] seed extract and [B] pericarp extract of *Z. schinifolium*.

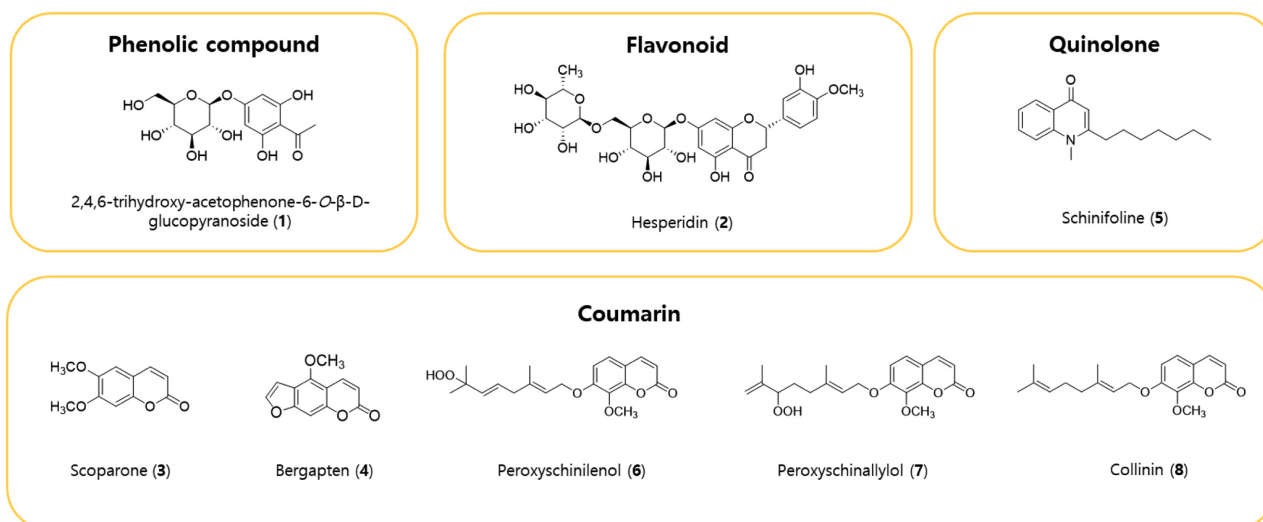


Fig. 2. Compounds isolated from the seed and pericarp of *Z. schinifolium*.

(6), peroxyschinallyl (7) 및 collinin (8)으로 동정하였다 (Fig. 2).

화합물의 구조를 계열별로 분석해보면 phenolic compound 1종(1), flavonoid 1종(2), coumarin류 화합물 5종(3, 4, 6, 7, 8) 및 alkaloid 1종(5)으로 분류할 수 있으며 이는 산초 열매의 종자와 과피가 다양한 계열의 이차대사산물을 포함하고 있음을 보여준다.

산초 열매 종자와 과피의 성분 분포 및 함량 비교 – 분리된 화합물의 종자 및 과피 내 분포 특성을 확인하기 위하여 각 시료의 추출물을 대상으로 주요 화합물의 함량을 분석하였다. 그 결과, 산초 열매의 종자와 과피 간에 화학성분의 분포 및 함량에서 뚜렷한 차이가 나타났다(Table I).

분리한 화합물 중 scoparone (3)은 종자와 과피의 건조시료 당 각각 37.1 및 33.5 µg/g로 유사한 함량을 보였다. 그러나 나머지 7종의 화합물은 종자와 과피에서의 함량에 차이를 보였다.

우선 2,4,6-trihydroxyacetophenone-6-O-glycoside (1)과 hesperidin (2)은 종자에서 상대적으로 높은 함량으로 검출되었으며, 건조 시료당 42.5 및 83.7 µg/g의 함량을 나타내었다. 반면 이들 화합물은 과피에서는 거의 검출되지 않았으며 이는 종자에 선택적으로 분포하는 성분임을 확인하였다.

이에 비해 peroxyschinilenol (6)과 peroxyschinallyl (7)은 과피 건조시료 당 각각 175.9 및 54.1 µg/g의 함량을 나타내었으며 종자에서는 거의 검출되지 않았다.

Table I. Contents of compounds in seed and pericarp of *Z. schinifolium*

Compounds	Amounts ($\mu\text{g/g}$ dried sample)	
	Seed	Pericarp
2,4,6-Trihydroxyacetophenone-6-O-glycoside (1)	42.5	< 1.0
Hesperidin (2)	83.7	< 1.0
Scoparone (3)	37.1	33.5
Bergapten (4)	25.3	517.4
Schinifoline (5)	15.2	338.2
Peroxyschinilenol (6)	< 1.0	175.9
Peroxyschinallyl (7)	< 1.0	54.1
Collinin (8)	54.1	897.1

Bergapten (4), schinifoline (5) 및 collinin (8)은 종자와 과피 모두에 함유되어 있으나 그 함량을 차이를 나타내었다. Bergapten (4), schinifoline (5) 및 collinin (8)은 종자에는 건조 시료당 각각 25.3, 15.2 및 54.1 $\mu\text{g/g}$ 의 함량을 나타내었으며 과피 건조시료에는 각각 517.4, 338.2 및 897.1 $\mu\text{g/g}$ 의 함량을 나타내었다. 즉 Bergapten (4), schinifoline (5) 및 collinin (8)은 종자와 과피 간 함량의 차이를 보여 과피의 함량이 종자보다 각각 20.4, 22.2 및 16.5배의 높은 함량으로 존재하였다.

이상의 결과로부터, 종자에는 phenolic compound 및 flavonoid 성분이 주로 분포하는 반면, 과피에는 coumarin 및 alkaloid 성분이 풍부하게 분포하는 것을 확인하였다.

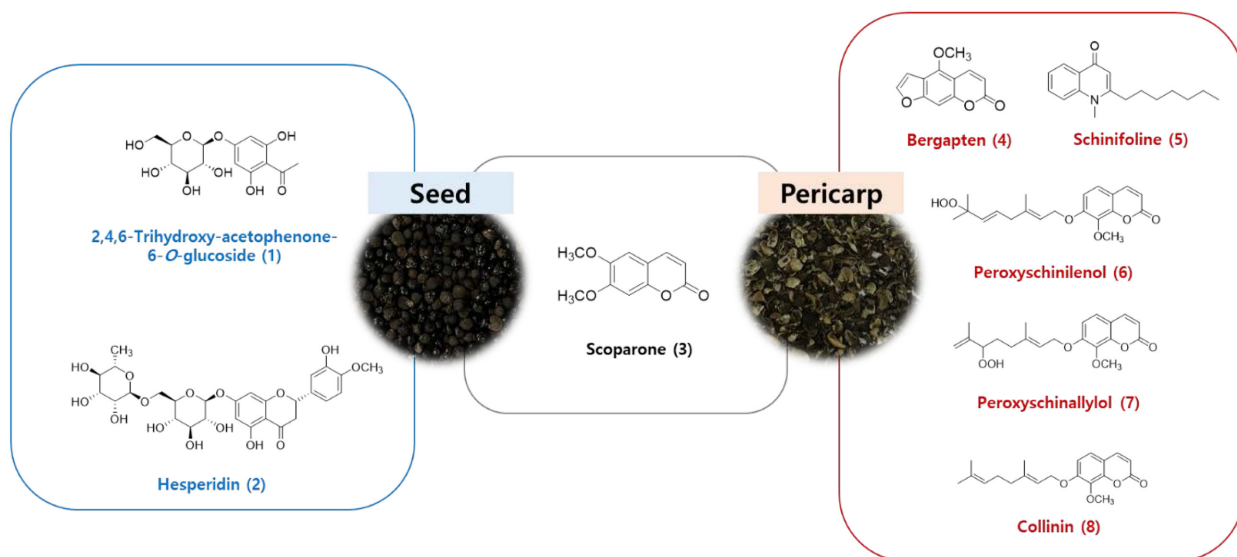
산초 열매 종자 및 과피의 특징 성분 분포 – 이상과 같이

산초 열매의 종자와 과피는 성분 분포 및 함량에서 뚜렷한 차이를 나타내었으며, 이는 각 부위의 생리적 역할과 활용 특성의 차이를 반영하는 것으로 판단된다(Fig. 3).

Scoparone (3)은 종자와 과피에서 각각 37.1 및 33.5 $\mu\text{g/g}$ 으로 유사한 함량을 나타내어 두 부위에 공통적으로 분포하는 성분으로 확인되었다. 반면, 2,4,6-trihydroxyacetophenone-6-O-glycoside (1)과 hesperidin (2)은 종자에서 상대적으로 높은 함량으로 검출되었으나 과피에서는 미량 또는 거의 검출되지 않아 종자에 특징적으로 분포하는 성분으로 확인되었다.

한편, bergapten (4), schinifoline (5), peroxyschinilenol (6), peroxyschinallyl (7) 및 collinin (8)은 과피에서 높은 함량을 나타내었다. 특히 peroxyschinilenol (6)과 peroxyschinallyl (7)은 종자에서는 거의 검출되지 않았으며, bergapten (4), schinifoline (5) 및 collinin (8) 역시 종자보다 과피에서 16배 이상 높은 함량으로 존재하여 과피에 특징적으로 분포하는 성분임을 확인하였다. Schinifoline (5)은 quinoline 계열 알칼로이드로서 항균 활성이 보고된 바 있으며,^{2,5)} 과피의 주요 성분 중 하나로 확인되었다.

이상의 결과는 산초 열매의 종자와 과피가 서로 다른 화학적 조성을 갖고 있음을 보여주며, 종자에는 phenolic compound 및 flavonoid 성분이, 과피에는 coumarin 및 alkaloid 성분이 상대적으로 풍부하게 분포함을 확인하였다. 이러한 차이는 종자와 과피의 생리적 기능 차이와 관련이 있을 것으로 생각된다. 일반적으로 종자는 발아와 초기 생장에 필요한 저장 기관으로서 산화적 스트레스로부터 배아를 보호하기 위한 항산화 성분을 축적하는 반면, 과피는 외부 환경과 직접 접촉하는 조직으로서 병원균, 초식동물 및 자외선과 같은 환경적 스트레스에 대응하기 위한 다양한 방어성 이차대사산물을

**Fig. 3.** Compounds isolated from the seed and pericarp of *Z. schinifolium*.

함유하는 것으로 알려져 있다. 실제로 flavonoid 및 phenolic compound는 항산화 작용을 통해 종자의 저장성과 생존에 기여하며, coumarin 및 alkaloid 화합물은 항균, 항초식 및 자외선 보호 기능과 관련되어 식물의 방어 기전에 중요한 역할을 수행한다.²¹⁻²³⁾ 따라서 본 연구에서 관찰된 부위별 성분 분포는 산초 열매의 종자와 과피가 수행하는 생리적 역할의 차이를 반영한 결과로 해석될 수 있으며, 산초 열매의 화학적 특성과 부위별 활용 가능성을 이해하는 데 중요한 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

결 론

본 연구에서는 산초(*Zanthoxylum schinifolium*) 열매를 종자와 과피로 구분하여 성분을 분리·동정하고, 주요 화합물의 분포 및 함량을 비교하였다. 그 결과, 종자에는 phenolic compound 및 flavonoid 성분이 주로 분포하는 반면, 과피에는 coumarin류 및 alkaloid 성분이 풍부하게 존재하는 등 부위 간 뚜렷한 화학성분의 차이를 확인하였다. 또한 scoparone은 종자와 과피에 공통적으로 존재하였으나, 2,4,6-trihydroxyacetophenone-6-O-glycoside와 hesperidin은 종자에서, bergapten, schinifoline 및 관련 화합물들은 과피에서 상대적으로 높은 함량을 나타내어 부위별 특징적인 성분 분포 양상을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 산초 열매의 화학성분이 부위에 따라 특이적으로 분포함을 보여주며, 종자와 과피를 구분한 성분 분석의 중요성을 뒷받침한다. 나아가 본 연구는 산초 열매의 부위별 화학적 특성에 대한 이해를 높이고, 향후 산초 자원의 차별적 활용 및 기능성 연구를 위한 기초 자료를 제공할 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 산림청 국립산림과학원(FP0400-2026-01-2026) 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인용문헌

1. Park, J. H., Lee, J. Y. and Kim, K. S. (2013) Chemical constituents and biological activities of *Zanthoxylum schinifolium*. *Kor. J. Pharmacogn.* **44**: 123-130.
2. Lee, S. O., Kim, S. Y. and Han, S. M. (2005) Composition and antimicrobial activity of *Zanthoxylum schinifolium* extracts. *Food Sci. Biotechnol.* **14**: 245-249.
3. Negi, J. S., Bisht, V. K. and Bhandari, A. K. (2011) Chemical constituents and biological activities of the genus *Zanthoxylum*: A review. *Afr. J. Pure Appl. Chem.* **5**: 412-416.
4. Kim, H. J., Lee, K. T. and Choi, J. H. (2008) Coumarins from *Zanthoxylum schinifolium* and their biological activities. *Arch. Pharm. Res.* **31**: 123-128.
5. Wu, T. S., Li, C. Y. and Leu, Y. L. (1994) The alkaloids of *Zanthoxylum* species. *Phytochemistry* **36**: 147-150.
6. Kim, H. J., Bae, E. A., Han, M. J. and Kim, D. H. (2009) Anti-inflammatory activity of *Zanthoxylum schinifolium* extracts. *Biol. Pharm. Bull.* **32**: 123-127.
7. Fait, A., Angelovici, R., Less, H., Ohad, I., Urbanczyk-Wochniak, E., Fernie, A. R. and Galili, G. (2006) Arabidopsis seed development and germination is associated with temporally distinct metabolic switches. *Plant Physiol.* **142**: 839-854.
8. Kliebenstein, D. J. (2004) Secondary metabolites and plant/environment interactions. *Plant Cell Environ.* **27**: 675-684.
9. Wink, M. (2010) Biochemistry of plant secondary metabolism. *Annu. Plant Rev.* **40**: 1-19.
10. Lee, K. G. and Shibamoto, T. (2001) Antioxidant property of aroma extract isolated from *Zanthoxylum schinifolium*. *J. Agric. Food Chem.* **49**: 255-259.
11. Zhang, H., Chen, F. and Wang, X. (2017) Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils from *Zanthoxylum* species. *Ind. Crops Prod.* **97**: 161-168.
12. Yang, X. and Eilerman, R. G. (1999) Pungent compounds of *Zanthoxylum schinifolium* and their sensory properties. *J. Agric. Food Chem.* **47**: 3368-3372.
13. Ryu, S. H., Kim, B. S., Turk, A., Yeon, S. W., Lee, S., Lee, H. H., Ko, S. M., Hwang, B. Y. and Lee, M. K. (2023) Effect of cultivation stages of *Hericium erinaceus* on the contents of major compounds and α -glucosidase inhibitory activity. *Nat. Prod. Sci.* **29**: 132-137.
14. Dai, Y., He, X., Zhou, G., Kurihara, H., Ye, W. and Yao, S. (2008) Acylphloroglucinol glycosides from the fruits of *Pyracantha fortuneana*. *J. Asian Nat. Prod. Res.* **10**: 111-117.
15. Gözcü, S., Polat, H. K., Gültekin, Y., Ünal, S., Karakuyu, N. F., Şafak, E. K., Doğan, O., Pezik, E., Haydar, M. K., Aytekin, E., Kurt, N. and Laçın, B. B. (2024) Formulation of hesperidin-loaded in situ gel for ocular drug delivery: a comprehensive study. *J. Sci. Food Agric.* **104**: 5846-5859.
16. Ma, C. H., Ke, W., Sun, Z. L., Peng, J. Y., Li, Z. X., Zhou, X., Fan, G. R. and Huang, C. G. (2006) Large-scale isolation and purification of scoparone from *Herba artemisiae scopariae* by high-speed counter-current chromatography. *Chromatographia* **64**: 83-87.
17. Marumoto, S. and Miyazawa, M. (2010) Biotransformation of bergapten and xanthotoxin by *Glomerella cingulata*. *J. Agric. Food Chem.* **58**: 7777-7781.
18. Wang, X. X., Zan, K., Shi, S. P., Zeng, K. W., Jiang, Y., Guan, Y., Xiao, C. L., Gao, H. Y., Wu, L. J. and Tu, P. F. (2013) Quinolone alkaloids with antibacterial and cytotoxic activities from the fruits of *Evodia rutaecarpa*. *Fitoterapia* **89**: 1-7.
19. Tsai, I. L., Lin, W. Y., Chang, C. T. and Chen, I. S. (1998) Peroxycoumarins from the root bark of *Zanthoxylum schinifolium*. *J. Chin. Chem. Soc.* **45**: 99-101.

20. Hong, M. F., Pan, J. X., Jiang, T. Y., Li, C. L. and Han, G. Q. (1992) Isolation and characterization of platelet-activating factor (PAF) inhibitors from *Zanthoxylum schinifolium*. *J. Chin. Pharm. Sci.* **1**: 13.
 21. Treutter, D. (2005) Significance of flavonoids in plant resistance and enhancement of their biosynthesis. *Plant Biol.* **7**: 581-91.
 22. Kessler, A. and Baldwin, I. T. (2002) Plant responses to insect herbivory: the emerging molecular analysis. *Annu. Rev. Plant Biol.* **53**: 299-328.
 23. Agati, G., Azzarello, E., Pollastri, S. and Tattini. M. (2012) Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Sci.* **196**: 67-76.
- (2026. 5. 13 접수; 2026. 6. 2 심사; 2026. 6. 18 게재확정)