Check for updates

생 약 학 회 지
Kor. J. Pharmacogn. 57(3) : 165 ~ 171 (2026)
https://doi.org/10.22889/KJP.2026.57.3.165

국수나무 가지의 트리테르페노이드 유도체

강정연 · 권용수 · 양희정*
강원대학교 약학대학

Triterpenoid Derivatives from the Twigs of *Stephanandra incisa*

Jeong-Yeon Kang, Yongsoo Kwon, and Heejung Yang*
College of Pharmacy, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract – Eight triterpenoid compounds were isolated from the 80% methanol extract of the twigs of *Stephanandra incisa* (Thunb.). Based on spectroscopic and physicochemical analyses, the isolated compounds were identified as ursolic acid 3-acetate (**1**), pomolic acid 3-acetate (**2**), pomolic acid (**3**), euscaphic acid (**4**), tormentic acid (**5**), hyptadienic acid (**6**), maslinic acid (**7**), and betulinic acid (**8**). To the best of our knowledge, this is the first report of triterpenoid constituents from the genus *Stephanandra*.

Keywords – *Stephanandra incisa*, Rosaceae, Triterpenoids

국수나무(*Stephanandra incisa* (Thunb.) Siebold et Zabel)는 장미과(Rosaceae)에 속하는 낙엽활엽관목으로, 동아시아의 난대에서 온대에 걸쳐 중국 동부, 일본 동북부, 대만, 그리고 한국 전역에 널리 분포한다.[1] 주로 산지의 저지대 또는 숲 가장자리에 자생하며, 양지와 음지를 가리지 않고 내한성과 내건성이 강하여 다양한 환경에 높은 적응력을 보인다.[2] 높이 1~2.5 m로 자라며 가지가 많이 나와 밑으로 처지면서 덤불 형태를 이루고, 잔가지는 가늘고 둥글며 잔털 또는 선모가 있다.[1] 줄기의 골 속 모양이 국수와 같다고 하여 국수나무라 불리며, 조경수로도 활용된다.[3] 국수나무 속은 전 세계적으로 5종이 알려져 있으며, 중국에 2종, 일본에 2종, 대만에 1종, 한국에 1종이 생육하고 있다[4-7]. 장미과 식물은 triterpenoid, flavonoids, phenolic 화합물 등 다양한 이차대사산물을 함유하는 것으로 알려져 있으며, 특히 triterpenoid는 항염, 항산화, 항암 등의 생리활성이 보고되어 천연물 신약 개발의 주요 소재로 주목받고 있다. 그러나 국수나무에 대한 성분 분리 연구는 현재까지 보고된 바 없어, 화학적 프로파일이 전혀 규명되지 않은 상태이다. 이에 본 연구에서는 국수나무 가지의 80% 메탄올 추출물로부터 triterpenoid을 분리하고 동정하여 국수나무의 화학적 조성을 밝히고, 해당 성분의 기초 자료를 제공하고자 하였다.

*교신저자(E-mail) : heejyang@kangwon.ac.kr
(Tel) : +82-33-250-6919

재료 및 방법

실험재료 – 본 연구에서 사용된 국수나무는 서울대학교 약학대학 부속 약초원에서 2022년 1월에 채집하였다. 강원대학교 약학대학에 보관(KNUSI-01)하였다.

기기 및 시약 – 질량분석데이터는 Thermo사의 Orbitrap Exploris120을 이용하여 측정하였다. NMR spectra는 Brucker사의 Avance II 600을 이용하여 측정하였다. 화합물의 분리는 Merck 사의 silica gel (63~200 μm)을 이용한 open column chromatography와 Teledyne Isco사의 CombiFlash® Flash chromatography system을 이용하여 RediSep® column으로 수행하였다. TLC 분석은 Merck사의 Kieselgel 60 F254와 RP F254s plates를 사용하였다. 컬럼크로마토그래피에 사용한 유기용매는 따로 언급이 없는 한 대정화금의 extra pure grade를 한번 증류한 것을 사용하였다. 기타 시약은 analytical grade를 사용하였다.

추출 및 분획 – 건조된 국수나무의 가지 6.1 kg을 80% MeOH로 3시간 3회 반복하여 추출하였다. 추출액을 필터 후에 감압 농축기로 농축을 진행하여 추출물 590.8 g을 얻었다. 추출물을 물에 현탁하여 *n*-hexane (16.0 g), EtOAc (61.5 g), *n*-BuOH (123.4 g), H_2O (312.6 g) 순으로 분획을 진행하였다.

국수나무 가지의 EtOAc 분획물로부터 화합물 분리 – 국수나무 가지의 EtOAc 분획물(61.5 g)을 MPLC silica gel column으로 *n*-hexane:EtOAc (9:1→8:2→6:4→4:6→2:8) 및

Table I. NMR spectra data for compounds **1-5**

Position	1[a]		2[a]		3[b]		4[c]		5[c]	
	δ_C, type	δ_H (J in Hz)	δ_C, type	δ_H (J in Hz)	δ_C, type	δ_H (J in Hz)	δ_C, type	δ_H (J in Hz)	δ_C, type	δ_H (J in Hz)
1	38.2, CH_2	1.09, m 1.28, m	38.2, CH_2	1.07, m 1.63, m	39.0, CH_2	1.60, m 1.00, m	42.5, CH_2	1.28, m 1.57, m	42.7, CH_2	1.58, m 1.24, m
2	23.5, CH_2	1.63, m 1.63, m	23.8, CH_2	1.62, m 1.97, m	28.6, CH_2	1.86, m 1.86, m	67.2, CH	3.94, dd (1.6, 12.0)	69.5, CH	3.64, ddd (4.5, 9.5, 11.4)
3	80.9, CH	4.50, dd (5.9, 10.2)	81.1, CH	4.50, dd (6.3, 9.7)	78.7, CH	3.46, dd (4.9, 11.2)	80.1, CH	3.33, d (2.8)	84.6, CH	2.93, d (9.5)
4	37.6, C		37.8, C		39.5, C		39.4, C		40.5, C	
5	55.2, CH	0.86, s	55.3, CH	0.87, s	56.4, CH	0.88, m	49.3, CH	1.25, m	56.7, CH	1.24, m
6	18.1, CH_2	1.36, m 1.52, m	18.4, CH_2	1.38, m 1.54, m	19.4, CH_2	1.60, m 1.43, m	19.3, CH_2	1.40, m 1.47, m	19.7, CH_2	1.45, m 1.31, m
7	32.8, CH_2	1.36, m 1.52, m	32.7, CH_2	1.31, m 1.49, m	34.1, CH_2	1.60, m 1.42, m	34.1, CH_2	1.30, m 1.59, t (4.4)	34.1, CH_2	1.58, m 1.31, m
8	39.4, C		40.1, C		40.9, C		41.3, C		41.1, C	
9	47.4, CH	1.53, m	47.2, CH	1.63, m	48.3, CH	1.67, m	48.2, CH	1.87, m	48.6, CH	1.83, m
10	36.8, C		37.7, C		37.8, C		39.5, C		39.2, C	
11	23.2, CH_2	1.91, dd (3.6, 8.8) 1.91, dd (3.6, 8.8)	23.7, CH_2	1.62, m 1.97, m	24.5, CH_2	2.09, m 2.09, m	24.7, CH_2	2.00, m 2.04, m	24.8, CH_2	2.02, m 1.96, dd (4.7, 12.6)
12	125.7, CH	5.24, t (3.6)	129.5, CH	5.34, t (3.8)	128.5, CH	5.64, t-like	129.4, CH	5.30, t (3.7)	129.2, CH	5.31, t (3.7)
13	137.9, C		138.1, C		140.5, C		140.1, C		140.2, C	
14	41.8, C		41.2, C		42.6, C		42.7, C		42.7, C	
15	27.9, CH_2	1.09, m 1.85, m	28.3, CH_2	1.05, m 1.72, m	29.3, CH_2	2.18, m 1.63, m	29.6, CH_2	1.02, m 1.81, m	29.6, CH_2	1.75, m 1.01, m
16	24.0, CH_2	3.16, td (4.6, 13.1) 1.87, m	25.5, CH_2	1.63, m 1.63, m	26.9, CH_2	2.38, td (4.8, 13.9) 1.30, m	26.6, CH_2	1.52, m 2.58, m	26.6, CH_2	2.58, td (4.7, 13.3)
17	47.9, C		47.9, C		48.8, C		49.1, C		48.2, C	
18	52.5, CH	2.18 d (11.2)	53.0, CH	2.53, d (3.5)	55.1, CH	3.09, s	55.1, CH	2.51, br s	55.1, CH	2.52, br s
19	39.0, CH	1.33, m	73.2, C		73.2, C		73.6, C		73.6, C	
20	38.8, CH	1.32, m	37.1, CH	1.32, m	42.8, CH	1.53, m	43.1, CH	1.33, m	43.1, CH	1.33, m
21	30.5, CH_2	1.31, m 1.53, m	26.1, CH_2	1.30, m 1.68, m	27.4, CH_2	1.43, m 1.42, m	27.3, CH_2	1.25, m 1.74, m	27.3, CH_2	1.73, m 1.23, m
22	36.6, CH_2	1.72, m 1.72, m	29.8, CH_2	1.25, m 1.25, m	39.9, CH_2	2.10, m 2.10, m	39.0, CH_2	1.64, m 1.74, m	39.0, CH_2	1.73, m 1.64, m
23	28.0, CH_3	0.87 s	28.2, CH_3	0.87, s	29.8, CH_3	1.14, s	29.2, CH_3	1.00, s	29.3, CH_3	1.02, s
24	16.6, CH_3	0.86 s	16.8, CH_3	0.85, s	17.2, CH_3	1.05, s	22.4, CH_3	0.88, s	17.0, CH_3	0.82, s
25	15.5, CH_3	0.96 s	15.5, CH_3	0.94, s	16.0, CH_3	0.94, s	16.9, CH_3	1.00, s	17.5, CH_3	1.03, s
26	17.0, CH_3	0.85 s	17.1, CH_3	0.72, s	17.7, CH_3	1.15, s	17.5, CH_3	0.80, s	17.4, CH_3	0.81, s
27	23.5, CH_3	1.07 s	24.6, CH_3	1.24, s	25.2, CH_3	1.76, s	24.9, CH_3	1.36, s	24.8, CH_3	1.35, s
28	182.9, C		183.7, C		181.2, C		182.4, C		182.5, C	
29	17.0, CH_3	0.77 s	27.6, CH_3	1.21, s	27.6, CH_3	1.48, s	27.1, CH_3	1.20, s	27.1, CH_3	1.21, s
30	21.1, CH_3	0.95 d (6.7)	16.3, CH_3	0.96, d (6.6)	17.0, CH_3	1.26, s	16.6, CH_3	0.94, d (6.7)	16.6, CH_3	0.94, d (6.7)
31 (C=O)	171.0		171.2							
32 (-$COCH_3$)	21.3	2.04 s	21.5	2.05, s						

[a]chloroform-d, [b]pyridine-d_5, [c]methanol-d_4

DCM:MeOH (8:2→4:6→2:8) 용매시스템을 이용해 분획하여 SIE1~SIE6을 얻었다. SIE5 (55.12 g)를 MPLC의 RP-C18 column으로 MeOH:H_2O (1:9→2:8→4:6→6:4→8:2→MeOH)로 재분리하여 SIE5-1~SIE5-4를 얻었고, SIE5-4 (23.7 g)를 다시 MPLC의 silica gel column (*n*-hexane:EtOAc 10:1→8:2→6:4→4:6→2:8→MeOH)로 분획하여 SIE5-4-1~SIE5-4-5를 얻었

Table II. NMR spectra data for compounds **6-8**

Position	6[a]		7[a]		8[b]	
	δ_C, type	δ_H (*J* in Hz)	δ_C, type	δ_H (*J* in Hz)	δ_C, type	δ_H (*J* in Hz)
1	61.3, CH_2	4.59, d (14.9) 4.46, d (14.9)	48.2, CH_2	1.53, m 1.07, m	38.9, CH_2	1.66, d (3.6)
2	157.3, C		69.0, CH	4.12, ddd (4.4, 9.3, 11.5)	27.6, CH_2	1.62, m
3	134.1, CH	5.76, br s	84.3, CH	3.42, d (9.3)	79.2, CH	3.19, dd (11.5, 4.7)
4	42.5, C		40.3, C		39.0, C	
5	64.2, CH	1.62, d (3.5)	56.4, CH	0.88, m	55.5, CH	0.69, m
6	18.1, CH_2	1.47, m 1.47, m	19.3, CH_2	1.34, m 1.58, m	18.4, CH_2	1.40, m 1.52, m
7	35.0, CH_2	1.47, m 1.64, m	32.6, CH_2	1.36, m 1.58, m	34.5, CH_2	1.37, m
8	42.9, C		40.3, C		40.9, C	
9	44.1, CH	2.54, dd (11.3, 6.3)	48.6, CH	1.83, m	50.7, CH	1.27, s
10	51.4, C		39.0, C		37.4, C	
11	27.5, CH_2	2.38, m 2.46, m	24.2, CH_2	2.02, m 2.02, m	21.0, CH_2	1.42, m 1.26, m
12	128.6, CH	5.62, br s	122.9, CH	5.49, br s	25.7, CH_2	1.71, m
13	140.7, C		145.4, C		38.5, CH	2.2, td (12.4, 3.7)
14	42.8, C		42.7, C		42.6, C	
15	30.2, CH_2	1.36, m 2.40, m	28.8, CH_2	1.22, m 2.12, m	30.7, CH_2	1.97, m
16	27.4, CH_2	3.14, td (13.1, 4.5)	24.2, CH_2	2.02, m 2.02, m	32.3, CH_2	2.27, dt (13.0,3.3)
17	48.8, C		47.1, C		56.4, C	
18	55.3, CH	3.07, s	42.5, CH	3.33, dd (4.6 14.0)	49.4, CH	1.62, m
19	73.1, C		46.9, CH_2	1.33, m 1.83, m	47.0, CH	3.00, dt (10.4, 5.1)
20	42.5, CH	1.47, m	31.4, C		150.6, C	
21	26.9, CH_2	2.09, m 1.28, m	34.7, CH_2	1.31, m 1.44, m	29.9, CH_2	1.26, m
22	39.0, CH_2	2.09, m 1.28, m	33.7, CH_2	2.02, m 1.83, m	37.2, CH_2	1.97, m 1.47, m
23	30.6, CH_3	1.10, s	29.8, CH_3	1.28, s	28.1, CH_3	0.96, s
24	22.2, CH_3	0.99, s	17.9, CH_3	1.02, s	15.5, CH_3	0.75, s
25	19.4, CH_3	1.18, s	17.3, CH_3	0.96, s	16.3, CH_3	0.82, s
26	19.3, CH_3	1.17, s	18.1, CH_3	1.10, s	16.2, CH_3	0.94, s
27	25.9, CH_3	1.72, s	26.6, CH_3	1.30, s	14.8, CH_3	0.97, s
28	N.D		180.8, C		N.D	
29	27.6, CH_3	1.43, s	33.7, CH_3	1.01, s	109.9, CH_2	4.74, d (2.3) 4.61, m
30	17.2, CH_3	1.12, d (6.6)	24.4, CH_3	1.04, s	19.5, CH_3	1.69, s

[a]methanol-d_4, [b]chloroform-*d*

다. SIE5-4-1 분획을 MPLC의 RP-C18 column (MeOH:H_2O 5:1→10:1→15:1→MeOH)으로 재분리하여 SIE5-4-1-1~SIE5-4-1-5로 나누었고, SIE5-4-1-4를 silica gel open column chromatography (n-hexane:EtOAc 9:1→4:6→EtOAc→MeOH)로 분획하여 화합물 **1** (53.6 mg)을 얻었다. SIE5-4-2를 MPLC의 RP-C18 column (MeOH:H_2O 3:1→5:1→8:1→MeOH)으로 분리하여 화합물 **2** (8.0 mg), **3** (12.9 mg)을 얻었다. SIE5-4-3을 MPLC의 RP-C18 column (MeOH:H_2O 4:1→7:1→10:1→MeOH) 및 silica gel column chromatography로 분리하여 화합물 **4** (5.1 mg), **5** (2.7 mg), **6** (1.3 mg)을 얻었다. SIE5-4-4를 MPLC RP-C18 column (MeOH:H_2O 4:1→8:1→12:1→MeOH)으로 분리하고 분취용 HPLC (MeOH:H_2O 85:15, 유속 10 mL/min)로 정제하여 화합물 **7** (6.7 mg), **8** (2.5 mg)을 얻었다.

Compound 1 – Amorphous white powder; $C_{32}H_{50}O_4$; ESI-MS: *m/z* 497.3631 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, chloroform-*d*): see Table I; ^{13}C-NMR (150 MHz, chloroform-*d*): see Table I.

Compound 2 – Amorphous white powder; $C_{32}H_{50}O_5$; ESI-MS: *m/z* 513.3580 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, chloroform-*d*): see Table I; ^{13}C-NMR (150 MHz, chloroform-*d*): see Table I.

Compound 3 – Amorphous white powder; $C_{30}H_{48}O_4$; ESI-MS: *m/z* 471.3474 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, pyridine-d_5): see Table I; ^{13}C-NMR (150 MHz, pyridine-d_5): see Table I.

Compound 4 – Amorphous white powder; $C_{30}H_{48}O_5$; ESI-MS: *m/z* 487.3423 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, methanol-d_4): see Table I; ^{13}C-NMR (150 MHz, methanol-d_4): see Table I.

Compound 5 – Amorphous white powder; $C_{30}H_{48}O_5$; ESI-MS: *m/z* 487.3420 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, methanol-d_4): see Table I; ^{13}C-NMR (150 MHz, methanol-d_4): see Table I.

Compound 6 – Amorphous white powder; $C_{30}H_{46}O_4$; ESI-MS: *m/z* 469.3318 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, methanol-d_4): see Table II; ^{13}C-NMR (150 MHz, methanol-d_4): see Table II.

Compound 7 – Amorphous white powder; $C_{30}H_{48}O_4$; ESI-MS: *m/z* 471.3473 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, methanol-d_4): see Table II; ^{13}C-NMR (150 MHz, methanol-d_4): see Table II.

Compound 8 – Amorphous white powder; $C_{30}H_{48}O_3$; ESI-MS: *m/z* 455.3525 [M-H]$^-$; ^{1}H-NMR (600 MHz, chloroform-*d*): see Table II; ^{13}C-NMR (150 MHz, chloroform-*d*): see Table II.

결과 및 고찰

화합물 **1**-**8**은 ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR, HMBC, ESI-MS 등의 분광학적 데이터를 문헌치와 비교하여 구조를 동정하였으며, 각 화합물의 구조적 특징에 따라 ursane, oleanane, lupane 계열의 triterpene 골격으로 분류하였다(Fig. 1).

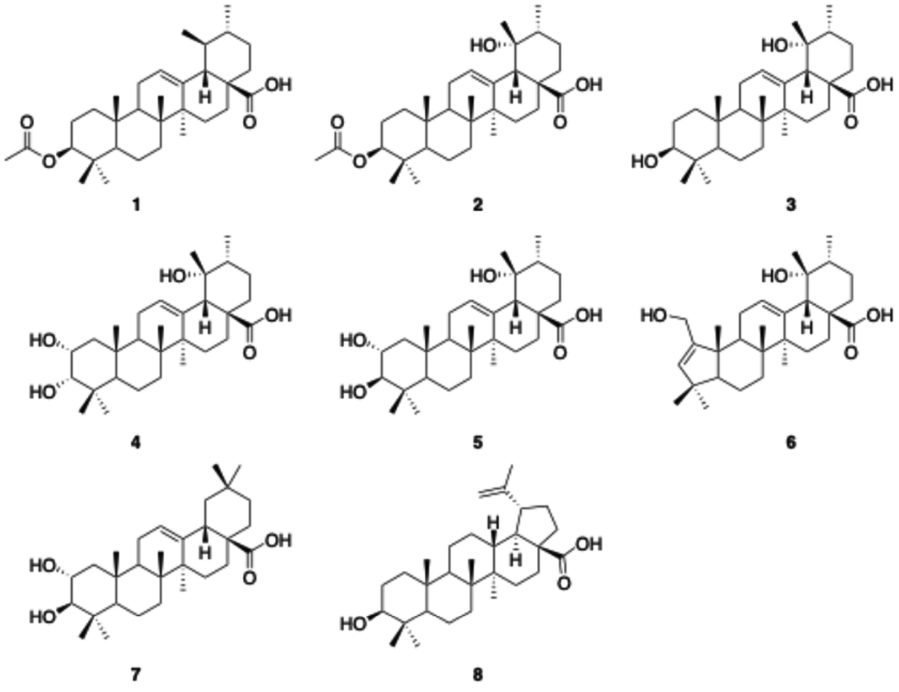


Fig. 1. Chemical structures of the compounds **1**-**8**.

화합물 **1**은 무정형 백색 분말로 ESI-MS (*m/z* 497.3631 [M-H]$^-$)의 값을 통해 분자식을 $C_{32}H_{50}O_4$로 확인하였다. ^{1}H 및 ^{13}C-NMR spectrum에서 δ_C 125.7 (C-12)과 δ_C 137.9 (C-13)의 olefin carbon signal 및 δ_H 0.95 (3H, d, *J*=6.7 Hz, H-30)의 doublet methyl proton signal을 통해 ursane 계열의 triterpene 골격임을 판단하였다. ^{1}H-NMR spectrum에서 1개의 olefin methine proton signal (δ_H 5.24, 1H, t, *J*=3.6 Hz, H-12)과 1개의 oxygenated methine proton signal (δ_H 4.50, 1H, dd, *J*=5.9, 10.2 Hz, H-3), 그리고 1개의 acetyl proton signal (δ_H 2.04, 3H, s, -COC$\underline{H}_3$, H-32)을 확인하였다. 6개의 methyl proton signal (δ_H 1.07, 0.96, 0.95, 0.87, 0.86, 0.85, 0.77)을 확인하였다. ^{13}C-NMR spectrum에서 1개의 carboxyl carbon signal (δ_C 182.9, C-28)과 1개의 oxygenated-methine carbon signal (δ_C 80.9, C-3), 2개의 acetyl carbon signal (δ_C 171.0, C=O, C-31; δ_C 21.3, -CO$\underline{C}H_3$, C-32)을 확인하였다. HMBC spectrum에서 δ_C 171.0 (C=O, C-31)과 δ_C 4.50 (1H, dd, *J*=5.9, 10.2 Hz, H-3)의 상관관계를 통해 acetyl기가 C-3 위치에 결합되어 있음을 확인하였다. 이상의 분광학적 데이터를 문헌치와 비교한 결과, 화합물 **1**을 ursolic acid 3-acetate로 동정하였다.[8)]

화합물 **2**는 무정형 백색 분말로 ESI-MS (*m/z* 513.3580 [M-H]$^-$)에서 분자식 $C_{32}H_{50}O_5$를 확인하였으며, hydroxyl기가 1개 추가된 구조를 예상하였다. ^{1}H-NMR 및 ^{13}C-NMR spectrum은 화합물 **1**과 유사한 패턴을 보였으나, δ_C 73.2에서 oxygenated-quaternary carbon signal (C-19)이 추가로 관찰되어 C-19 위치에 hydroxyl기의 존재를 확인하였다. ^{1}H-NMR spectrum에서 δ_H 5.34 (1H, t, *J*=3.8 Hz, H-12)의 olefin methine proton signal, δ_H 4.50 (1H, dd, *J*=6.3, 9.7 Hz, H-3)의 oxygenated-methine proton signal, δ_H 2.05 (3H, s, -COC$\underline{H}_3$, H-32)의 acetyl proton signal을 확인하였다. 7개의 methyl proton signal (δ_H 1.24, 1.21, 0.96, 0.94, 0.87, 0.85, 0.72)을 확인하였다. ^{13}C-NMR spectrum에서 탄소 32개를 확인하였고, δ_C 183.7 (C-28)의 carboxyl carbon, δ_C 138.1 (C-13)과 δ_C 129.5 (C-12)의 olefin carbons, δ_C 81.1 (C-3)의 oxygenated-methine carbon, δ_C 171.2 (C=O, C-31)과 δ_C 21.5 (-CO$\underline{C}H_3$, C-32)의 acetyl carbon signal을 확인하였다. H-30의 doublet 양상과 C-12/C-13의 olefin carbon signal을 통해 ursane 계열임을 확인하고, 문헌치와 비교하여 화합물 **2**를 pomolic acid 3-acetate로 동정하였다.[9)]

화합물 **3**은 무정형 백색 분말로 ESI-MS (*m/z* 471.3474 [M-H]$^-$)에서 분자식이 $C_{30}H_{48}O_4$로 확인하고, 화합물 **2**보다 42 mass unit 낮은 것을 나타내어, acetyl기(C_2H_2O)가 제거된 hydroxyl 형태의 구조를 예상하였다. 이는 ^{1}H-NMR spectrum에서 화합물 **1**과 **2**에서 관찰되었던 δ_H 2.04-2.05 영역의 acetyl proton signal이 소실되었고, ^{13}C-NMR spectrum에서도 δ_C 171.0-171.2 (C=O) 및 δ_C 21.3-21.5 (-CO$\underline{C}H_3$)의 acetyl carbon signal이 관찰되지 않았다. ^{1}H-NMR spectrum에서 δ_H 5.64 (1H, t-like, H-12)의 olefin methine proton signal과 δ_H 3.46 (1H, dd, *J*=4.9, 11.2 Hz, H-3)의 oxygenated-methine proton signal을 확인하였다. 7개의 methyl proton signal (δ_H 1.76, 1.48, 1.26, 1.15, 1.14, 1.05, 0.94)을 확인하였다. ^{13}C-NMR spectrum에서 탄소 30개를 확인하였고, δ_C 181.2 (C-28)의 carboxyl carbon, δ_C 140.5 (C-13)과 δ_C 128.5 (C-12)의 olefin carbons, δ_C 78.7 (C-3)의 oxygenated-methine carbon, δ_C 73.2 (C-19)의 oxygenated-quaternary carbon signal을 확인하였다. 문헌치와 비교한 결과, 화합물 **3**을 pomolic acid로 동정하였다.[9)]

화합물 **4**는 무정형 백색 분말로 ESI-MS (*m/z* 487.3423 [M-H]$^-$)에서 분자식 $C_{30}H_{48}O_5$을 확인하고, 화합물 **3**보다 16 mass unit 높은 값으로 추가적인 hydroxyl기의 존재를 예상하였다. ^{13}C-NMR spectrum은 화합물 **3**과 유사한 패턴이었으나, 화합물 **3**에서 C-2에 δ_C 67.2의 oxygenated-methine carbon signal이 새롭게 확인되어 2번 탄소에 hydroxyl기가 도입된 2,3,19-trihydroxy 구조를 예상하였다. ^{1}H-NMR spectrum에서 δ_H 5.30 (1H, t, *J*=3.7, H-12)의 olefin methine proton signal과 δ_H 3.33 (1H, d, *J*=2.8 Hz, H-3)의 oxygenated-methine proton signal을 확인하였다. H-3의 coupling constant (*J*=2.8 Hz)로 H-2와 H-3가 equatorial-axial 관계인 것을 확인하였다. 7개의methyl proton signal (δ_H 1.36, 1.20, 1.00, 1.00, 0.94, 0.88, 0.80)을 확인하였다. ^{13}C-NMR spectrum에서 탄소 30개를 확인하였고, δ_C 182.4 (C-28)의 carboxyl carbon, δ_C 140.1 (C-13)과 δ_C 129.4 (C-12)의 olefin carbons, δ_C 80.1 (C-3)과 δ_C 67.2 (C-2)의 oxygenated-methine carbons, δ_C 73.6 (C-19)의 oxygenated-quaternary carbon signal을 확인하였다. 문헌치와 비교한 결과, 화합물 **4**를 euscaphic acid로 동정하였다.[10)]

화합물 **5**는 무정형 백색 분말로 화합물 **4**와 동일한 분자식 $C_{30}H_{48}O_5$ (ESI-MS *m/z* 487.3420 [M-H]$^-$)를 나타내어 이성질체 관계를 예상하였다. ^{1}H-NMR 및 ^{13}C-NMR spectrum은 화합물 **4**와 매우 유사하였으나, A-ring의 C-2 및 C-3 위치에서 현저한 chemical shift 차이가 나타났다. 화합물 **4**와 비교해 C-2는 δ_C 67.2에서 δ_C 69.5로, C-3는 δ_C 78.7에서 δ_C 84.6으로 down-field로 이동하였으며, H-3 역시 δ_H 3.33 (d, *J*=2.8 Hz)에서 δ_H 2.93 (d, *J*=9.5 Hz)으로 변화하였다. 특히 H-3의 coupling constant가 2.8 Hz에서 9.5 Hz로 크게 증가한 것은 H-2와 H-3 사이의 배향이 equatorial-axial에서 axial-axial로 변화하였음을 의미하며, 이는 C-3 hydroxyl기의 입체배향이 α에서 β로 전환된 것을 지시한다. ^{1}H-NMR spectrum에서 δ_H 5.31 (1H, t, *J*=3.7, H-12)의 olefin methine proton signal과 7개의methyl proton signal (δ_H 1.35, 1.21, 1.03, 1.02, 0.94, 0.82, 0.81)을 확인하였다. ^{13}C-NMR spectrum에서 탄소 30개를 확인하였고, δ_C 182.5 (C-28)의 carboxyl carbon, δ_C 140.2 (C-13)과 δ_C 129.2 (C-12)의 olefin carbons, δ_C 73.6 (C-19)의 oxygenated-quaternary carbon signal을 확인하였다. 문헌치와 비교한 결

과, 화합물 **5**를 tormentic acid로 동정하였다.[11)]

화합물 **6**은 무정형 백색 분말로 ESI-MS (*m/z* 469.3318 [M-H]$^-$)의 값을 통해 분자식 $C_{30}H_{46}O_4$를 확인하였다. 본 화합물은 화합물 **3-5**와 동일한 ursane 골격을 가지면서도 A-ring에서 특이적인 구조 변환이 관찰되었다. ^{13}C-NMR spectrum에서 화합물 **4**, **5**에서 각각 관찰되었던 C-2, C-3의 oxygenated carbon signal 대신, δ_C 157.3 (C-2)과 δ_C 134.1 (C-3)의 olefin carbon signal이 확인되어 A-ring에서 탈수 반응에 의한 이중결합 형성이 일어났음을 알 수 있었다. ^{1}H-NMR spectrum에서 δ_H 5.76 (1H, br s, H-3)과 δ_H 5.62 (1H, br s, H-12)의 2개의 olefin methine proton signal이 확인되었으며, δ_H 4.59 (1H, d, *J*=14.9 Hz, H-1a)와 δ_H 4.46 (1H, d, *J*=14.9 Hz, H-1b)의 oxygenated methylene proton signal을 통해 C-1 위치에 hydroxymethyl기가 존재함을 확인하였다. 7개의 methyl proton signal (δ_H 1.72, 1.43, 1.18, 1.17, 1.12, 1.10, 0.99)을 확인하였다. ^{13}C-NMR spectrum에서 δ_C 140.7 (C-13)과 δ_C 128.6 (C-12)의 olefin carbon signal을 확인하였다. δ_C 73.1 (C-19)과 δ_C 61.3 (C-1)에서 oxygenated carbon signal을 확인하여 hydroxyl기 2개의 존재를 예상하였다. C-28이 측정되지는 않았으나, 질량분석값에 근거한 분자식과 NMR데이터의 문헌치와 비교한 결과, 화합물 **6**을 hyptadienic acid로 동정하였다.[12)]

화합물 **7**은 무정형 백색 분말로 ESI-MS (*m/z* 471.3473 [M-H]$^-$)의 값을 통해 분자식 $C_{30}H_{48}O_4$를 확인하였다. 본 화합물은 앞서 동정한 ursane 계열 화합물들과 구별되는 중요한 특징을 보였다. 7개의 methyl proton signal이 모두 singlet으로 관찰되었다. ^{13}C-NMR spectrum에서 C-13이 δ_C 145.4로 관찰되어 ursane 계열(δ_C 137-141)보다 현저히 down-field에 나타나는 oleanane 계열의 전형적인 값을 보였으며, C-12는 δ_C 122.9로 ursane 계열(δ_C 125-130)보다 up-field에서 확인되었다. ^{1}H-NMR spectrum에서 δ_H 5.49 (1H, br s, H-12)의 olefin methine proton signal과 δ_H 3.42 (1H, d, *J*=9.3 Hz, H-3)의 oxygenated-methine proton signal을 확인하였다. 나머지 methyl proton signal은 δ_H 1.30 (3H, s, H-27), δ_H 1.28 (3H, s, H-23), δ_H 1.10 (3H, s, H-26), δ_H 1.04 (3H, s, H-30), δ_H 1.02 (3H, s, H-24), δ_H 1.01 (3H, s, H-29), δ_H 0.96 (3H, s, H-25)으로 확인되었다. ^{13}C-NMR spectrum에서 탄소 30개를 확인하였고, δ_C 180.8 (C-28)의 carboxyl carbon, δ_C 84.3 (C-3)과 δ_C 69.0 (C-2)의 oxygenated-methine carbon signal을 확인하였다. 문헌치와 비교한 결과, 화합물 **7**을 maslinic acid로 동정하였다.[13)]

화합물 **8**은 무정형 백색 분말로 ESI-MS (*m/z* 455.3525 [M-H]-)의 값을 통해 분자식 $C_{30}H_{48}O_3$을 확인하였다. 본 화합물은 화합물 **1-7**의 ursane 또는 oleanane 골격과는 전혀 다른 스펙트럼 양상을 보였다. 가장 주목할 만한 차이는 Δ12-olefin signal의 부재와 δ_H 4.74 (1H, d, *J*=2.3 Hz, H-29a) 및 δ_H 4.61 (1H, m, H-29b)에서 관찰되는 exocyclic methylene proton signal의 출현이다. ^{13}C-NMR spectrum에서 이에 대응하는 δ_C 150.6 (C-20)의 olefin quaternary carbon과 δ_C 109.9 (C-29)의 olefin methylene carbon signal이 확인되어 lupane 계열의 isopropenyl기 존재를 확인하였다. ^{1}H-NMR spectrum에서 δ_H 3.19 (1H, dd, *J*=4.7, 11.5 Hz, H-3)의 oxygenated-methine proton signal과 6개의 methyl proton signal (δ_H 1.69, 0.97, 0.96, 0.94, 0.82, 0.75)을 확인하였다. ^{13}C-NMR spectrum에서 1개의 oxygenated-methine carbon signal (δ_C 79.2, C-3)을 확인하였다. C-28의 carboxyl carbon은 직접 관찰되지 않았으나, 분자식 및 ESI-MS 데이터를 고려하여 carboxyl기의 존재를 추정하였다. 문헌치와 비교한 결과, 화합물 **8**을 betulinic acid로 동정하였다.[14)]

결 론

본 연구에서는 국수나무(*S. incisa*) 가지의 EtOAc 분획으로부터 8종의 트리테르페노이드 화합물을 분리하였다. 화합물 **1-6**는 ursane-type, **7**은 oleanane-type, **8**은 lupane-type으로 확인되었다. 이들 화합물은 국수나무속 식물에서는 처음으로 분리 보고되는 성분들이다. 본 연구 결과는 국수나무의 화학적 프로파일링 및 성분 분류학적 기초 자료로서 가치가 있을 것으로 사료된다. 분리된 화합물들은 선행 연구에서 항염, 항산화, 항암 등의 활성이 보고된 triterpenoid로, 확인된 성분들이조성 결과는 장미과 내 근연속에서 보고된 triterpenoid 프로파일과의 비교 자료 및 향후 생리활성 및 소재화 연구의 출발점으로서 의미를 가진다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청의 농업과학기술 공동연구사업(과제번호: RS-2022-RD010295)에 의해 수행한 결과이며, 또한 핵자기공명분광기 사용은 강원대학교 항암혁신신약개발 핵심연구지원센터(CFICDD)의 기술적 지원(2022R1A6C101A739)으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

인용문헌

1. Korea National Arboretum (2020) Silvics of Korea 4. Korea National Arboretum, Pocheon.
2. Karizumi, N. (1979) Illustration of Tree Roots. Seibundo Shinkosha Publ. Co. Ltd., Tokyo.
3. National Institute of Biological Resources (2016) Biodiversity of the Korean Peninsula. National Institute of Biological Resources, Incheon.
4. Gu, C. and Alexander, C. (2003) *Stephanandra* Siebold & Zuccarini. In Wu, Z. Y., Raven, P. H. and Hong, D. Y. (eds.), Flora of China, Vol. 9, p. 82, Science Press, Beijing.

5. Endo, Y. (2001) *Stephanandra* Siebold et Zucc. In Iwatsuki, K., Yamazaki, T., Boufford, D. E. and Ohba, H. (eds.), Flora of Japan, Vol. IIb, pp. 103-104, Kodansha, Tokyo.
6. Ohashi, H. (1993) *Stephanandra* Siebold et Zucc. In Editorial Committee of the Flora of Taiwan (ed.), Flora of Taiwan (2nd ed.), Vol. 3, pp. 154-155, Taipei.
7. Lee, S. T. (2007) *Stephanandra* Siebold et Zucc. In Flora of Korea Editorial Committee (ed.), The Genera of Vascular Plants of Korea, p. 540, Academy Publ. Co, Seoul.
8. Tkachev, A. V. and Denisov, A. Y. (1994) Oxidative decarboxylation by hydrogen peroxide and a mercury (II) salt: A simple route to nor-derivatives of acetyloleanolic, acetylursolic and dehydroabietic acids. *Tetrahedron* **50**: 2591-2598.
9. Yean, M. H., Kim, J. S., Hyun, Y. J., Hyun, J. W., Bae, K. and Kang, S. S. (2012) Terpenoids and phenolics from *Geum japonicum*. *Kor. J. Pharmacogn*. **43**: 107-121.
10. Waldbauer, K., Seiringer, G., Nguyen, D. L., Winkler, J., Blaschke, M., McKinnon, R., Urban, E., Ladurner, A., Dirsch, V. M, Zehl, M., Kopp, B. (2016) Triterpenoic acids from apple pomace enhance the activity of the endothelial nitric oxide synthase (eNOS). *J. Agric. Food Chem*. **64**: 185-194.
11. Reher, G. and Buděšínský, M. (1992) Triterpenoids from plants of the sanguisorbeae. *Phytochemistry* **31**: 3909-3914.
12. Ferhat, M., Kabouche, Z., Fujimoto, Y. and Araya, H. (2017) Two new triterpenes and other compounds from *Mentha aquatica* (Lamiaceae). *Nat. Prod. Commun*. **12**: 404-408.
13. Taniguchi, S., Imayoshi, Y., Kobayashi, E., Takamatsu, Y., Ito, H., Hatano, T., Sakagami, H., Tokuda, H., Nishino, H., Sugita, D., Shimura, S., Yoshida, T. (2002) Production of bioactive triterpenes by *Eriobotrya japonica* calli. *Phytochemistry* **59**: 315-323.
14. Joshua, J. M., Oyewale, A. O. and Ibrahim, H. (2020) Isolation, characterization and antimicrobial screening of betulinic acid from the stem extract of *Fadogia erythrophloea*. *J. Chem. Soc. Nigeria* **45**: 544-551.

(2026. 7. 27 접수; 2026. 9. 1 심사; 2026. 9. 10 게재확정)