

꼬리진달래 신초의 폴리페놀 프로파일링과 추출용매에 따른 유용성분 함량 및 항산화 활성 비교

강정목, 박용우, 정은숙, 최대호*

충북산림환경연구소 산림바이오센터, 연구원

Polyphenol Profiling and Comparison of Extraction Solvents on Useful Component Content and Antioxidant Activity of *Rhododendron micranthum* Shoot

Jungmok Kang, Yong-Woo Park, Eun-Suk Jung and Daeho Choi*

Researcher, Forest Bio Center, Chungcheongbuk-do Forest Environment Research Center, Okcheon 29061, Korea

Abstract - This study was conducted to provide information on the possibility of using *Rhododendron micranthum* as resource plant. Through polyphenol profiling of *R. micranthum* shoot extract, useful components were selected and the content of useful components and antioxidant activity by extraction solvent were compared. As a result, 37 polyphenol compounds were identified in *R. micranthum* shoot extract through LC-ESI-MS analysis. Contents by extraction solvent were compared of chlorogenic acid, astragaloside, myricetin, and afzelin. Chlorogenic acid was highest at 6.57 ± 0.12 mg/g in the ethanol extract, astragaloside was 2.29 ± 0.02 mg/g in the ethanol extract, myricetin was 4.77 ± 0.06 and 4.52 ± 0.27 mg/g in the methanol, ethanol extracts, and afzelin was highest at 0.10 ± 0.01 mg/g in the methanol extract. Total polyphenol content of the *R. micranthum* shoot extract according to the extraction solvent was highest in the ethanol extract at 80.01 ± 2.36 mg/g, and total flavonoid content was also highest in the ethanol extract at 78.08 ± 3.44 mg/g. The IC_{50} value of DPPH radical scavenging activity according to the extraction solvent of *R. micranthum* shoot was lowest in methanol extract at 943.57 ± 10.68 mg/L, and the IC_{50} value of ABTS radical scavenging activity was also lowest in methanol extract at 641.60 ± 7.58 mg/L.

Key words – Afzelin, Astragaloside, Chlorogenic acid, LC-ESI-MS, Myricetin

서 언

인구의 고령화와 삶의 질 향상으로 건강에 관한 관심이 높아짐에 따라 기능성 식품과 의약품의 수요가 증가하고 있으며, 그로 인해 자원식물은 바이오산업 소재로 재평가되고 있다(Song *et al.*, 2020). 인간의 생활에 유용하게 사용되는 식물인 자원식물은 정확한 용도와 이용법이 밝혀져 있지 않은 종이 많아 잠재적인 이용가능성이 높다(Kang, 2008).

꼬리진달래(*Rhododendron micranthum*)는 충청북도, 경상북도, 강원도 지역에 자생하는 진달래과(Ericaceae) 진달래속

(*Rhododendron*)에 속하는 상록활엽관목으로 산림청 지정 희귀식물이다(Korea national arboretum, 2021). 꼬리진달래의 꽃은 조산백(照山白)이라 하여 기관지염, 이질, 산후 신체의 동통, 골절을 치료하는 용도로 약용한다고 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2018), 발효추출물은 미백효과와 항주름효과가 있어 자원화 가능성이 있는 수종으로 알려져 있다(Oh *et al.*, 2018). 또한 꼬리진달래가 속하는 진달래속의 식물들은 식품 첨가물이나 의약품의 원료로 많이 이용되고 있다(Grimbs *et al.*, 2017).

폴리페놀 화합물은 식물의 대표적인 생리활성 물질로 페놀산류, 플라보노이드류, 스틸벤류, 쿠마린류, 리그닌류, 탄닌류 등으로 분류되며, 그 구조의 페놀성 OH기가 항산화 활성의 근원으로 알려져 있다(Shahidi and Yeo, 2018). 폴리페놀 화합물

*교신저자: E-mail eoghchoi@korea.kr

Tel. +82-43-730-8812

은 항산화 효과 및 항암, 항염 효과가 우수하고 인공 화합물에 비해 적은 부작용을 가져 대체 원료 물질로 주목받고 있으며 (Cha *et al.*, 1999; Tapsell *et al.*, 2006), 자원식물을 대상으로 이와 관련된 연구들이 수행되고 있다(Kim *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2005b). 따라서 자원식물 개발을 위해 폴리페놀 화합물의 구성과 함량을 분석하는 것이 필요하다(Kim and Kim, 2007).

국내 자생하는 진달래속의 폴리페놀 화합물에 관한 연구는 *R. yedoense*, *R. barachycarpum*, *R. mucronulatum*, *R. schlippenbachii*를 대상으로 수행되었으나(Jung *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2005a; Youn and Cho, 1991), 꼬리진달래의 폴리페놀 화합물에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 꼬리진달래의 폴리페놀 프로파일링을 통해 유용성이 높은 물질을 선별하고 추출용매에 따른 유용성분의 함량과 항산화 활성을 비교하여 천연물 원료로서의 활용 가능성에 대한 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

공시재료 및 추출 방법

본 연구에서 사용된 꼬리진달래는 2023년 7월에 충북 괴산 조령산 지역에서 신초 부위를 채취하였다(36°48'58.4"N, 128°02'48.1"E). 채취한 시료는 수세하여 이물질을 제거하고 동결건조(FD5508, Ilshin BioBase, Yangju, Korea) 후 분쇄하여 실험에 이용할 때까지 -80°C에서 보관하였다.

저장된 꼬리진달래 시료는 1:100 (w/v) 비율로 80% 메탄올, 80% 에탄올, 증류수를 첨가하여 60°C에서 1시간 동안 초음파 추출(UCP-10, JEIO TECH, Daejeon, Korea)하였다. 추출물은 20분간 4,000 rpm으로 원심분리하고 상등액을 4°C로 보관하면서 실험에 사용하였다.

LC-ESI-MS 분석

분자량 분포에 따른 폴리페놀 화합물 탐색을 위해 꼬리진달래 메탄올 추출물을 0.45 μm syringe filter (HENKE-JECT, Tuttlingen, Germany)로 여과하여 분석에 사용하였다. 정성분석은 Triple TOF 5600+ (AB Sciex company, Concord, ON, Canada)와 Waters Cortex C18 column (150 \times 2.1 mm, 1.6 μm , Waters Corp., Milford, MA, USA)이 장착된 Thermo Ultimate 3000 (Thermo Scientific, MA, USA)을 사용하였다. 컬럼온도는 45°C, 유속은 0.25 mL/min, 시료 주입량은 10 μL 로 하여 검출과장 254 nm에서 분석하였으며, 분석조건은 Table 1과 같다.

HPLC-PDA 분석

추출용매에 따른 chlorogenic acid, astragaloside, myricetin, afzelin 함량을 측정하기 위해 꼬리진달래 추출물과 메탄올에 용해한 표준물질을 0.45 μm syringe filter로 여과하여 분석에 사용하였다. Thermo Ultimate 3000 (Thermo scientific, MA, USA)과 Hypersil GOLD C18 (250 \times 4.6 mm, 5 μm , Thermo scientific, MA, USA)을 이용하여 컬럼온도 45°C, 유속은 1.5 mL/min, 시료 주입량은 10 μL 로 하여 검출과장 254 nm에서 분석하였으며, 분석조건은 Table 2와 같다. 모든 용매는 사용 전 탈기 및 여과하였다. 시료의 검출시간(retention time, RT)을 표준물질의 스펙트럼과 비교하여 정성 평가를 수행하였으며 꼬리진달래 추출물의 피크 면적을 기준으로 표준물질의 검량선을 이용하여 정량 분석하였다.

총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Kim *et al.* (2022)의 방법을 변형하여 측정하였다. 1 mg/mL 농도의 꼬리진달래 추출물 100 μL 에 0.2 N Folin-Ciocalteu 시약 2.5 mL를 혼합하여 상온에서 5분간 반응시킨 후 20% sodium carbonate 500 μL 를 넣고, 상온에서 30분간 반응시켜 분광광도계(SpectraMax iD3, Molecular Devices, Inc., Sunnyvale, CA, USA)를 이용하여 760 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 사용하여 표준곡선을 계산하였으며, 총 폴리페놀 함량은 시료 g당 mg gallic acid equivalent (GAE)로 표시하였다.

총 플라보노이드 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 Lee *et al.* (2022)의 방법을 변형하여 측정하였다. 1 mg/mL 농도의 꼬리진달래 추출물 100 μL 에 5% sodium nitrite 30 μL 와 증류수 500 μL 를 넣고 상온에서 6분간 반응시킨 후, 10% aluminium chloride 60 μL 를 넣고 상온에서 5분간 반응시켰다. 그 후, 1M sodium hydroxide 200 μL 와 증류수 100 μL 를 넣고 10분간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 415 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 quercetin을 사용하여 표준곡선을 계산하였으며, 총 플라보노이드 함량은 시료 g당 mg quercetin equivalent (QE)로 표시하였다.

DPPH radical 소거활성 측정

추출용매에 따른 꼬리진달래 추출물의 DPPH radical 소거활성은 Lee *et al.* (2023a)의 방법을 변형하여 측정하였다. 농도별

Table 1. MS information for *R. micranthum* ESI-MS analysis.

Parameters	Conditions		
Instrument	Thermo Ultimate 3000 system		
Column	Waters Cortex C18 (150 × 2.1 mm, 1.6 μm)		
Mass analyzer	Triple TOF 5600+		
Ionization	ESI (Positive: 5.5 kV, Negative: 4.5 kV)		
MS scan range	100 ~ 2000 m/z		
Nebulizing gas	50 psi		
Heating gas	50 psi		
Curtain gas	25 psi		
Collision gas	N ₂		
Desolvation temperature	500°C		
	A : 0.1% formic acid in water B : 0.1% formic acid in ACN		
	Time (min)	% A	% B
	0	97	3
	0.5	97	3
Mobile phase	15	85	15
	50	0	100
	55	0	100
	55.1	97	3
	60	97	3
Run time	60 min		

Table 2. HPLC condition for chlorogenic acid, astragaloside, myricetin, afzelin analysis.

Parameters	Conditions		
Instrument	Thermo Ultimate 3000 system		
Detector	DAD detector (254 nm)		
Column	Hypersil GOLD C18 (250 × 4.6 mm, 5 μm)		
Flow rate	1.5 mL/min		
Column Temp.	45°C		
Injection volume	10 μL		
	A : 0.1% formic acid in water B : 0.1% formic acid in ACN		
	Time (min)	% A	% B
	0	97	3
	15	85	15
Mobile phase	50	50	50
	55	0	100
	55.1	97	3
	60	97	3
Run time	60 min		

꼬리진달래 추출물 50 μ L에 0.2 mM DPPH 시약 1 mL를 첨가하여 상온에서 20분간 반응시키고 분광광도계를 이용하여 517 nm 파장에서 흡광도를 측정하여 radical 감소를 정량하였다. 꼬리진달래 추출물의 DPPH radical 소거활성은 아래의 식을 이용하여 계산하였으며, DPPH radical을 50% 소거하는 농도(IC₅₀)를 계산하였다. 대조군으로 L-ascorbic acid를 사용하였다.

$$\text{DPPH radical 소거활성(\%)} : (1 - A/B) \times 100$$

A : 시료 첨가구의 흡광도

B : 시료 무첨가구의 흡광도

ABTS radical 소거활성 측정

추출용매에 따른 꼬리진달래 추출물의 ABTS radical 소거활성은 Lee *et al.* (2023b)의 방법을 변형하여 측정하였다. ABTS 시약은 7 mM ABTS와 2.45 mM potassium persulfate를 혼합한 후 암소 상온에서 24시간 반응시킨 후 증류수를 이용하여 732 nm 파장에서 흡광도가 0.7 \pm 0.03이 되도록 희석하여 제조하였다. 꼬리진달래 추출물 50 μ L에 ABTS 시약 950 μ L를 혼합하여 암소 상온에서 20분간 반응시킨 후 분광광도계를 이용하여 732 nm 파장에서 흡광도를 측정하여 radical 감소를 정량하였다. 꼬리진달래 추출물의 ABTS radical 소거활성은 아래의 식을 이용하여 계산하였으며, ABTS radical을 50% 소거하는 농도(IC₅₀)

를 계산하였다. 대조군으로 L-ascorbic acid를 사용하였다.

$$\text{ABTS radical 소거활성(\%)} : (1 - A/B) \times 100$$

A : 시료 첨가구의 흡광도

B : 시료 무첨가구의 흡광도

통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복 실험하여 수집된 데이터를 평균과 표준편차로 나타냈다. 통계처리는 R program (Ver 4.2.2)을 이용하여 평균 간 유의차를 95% 수준에서 일원분산분석(One-way ANOVA)을 실시하고, Duncan's multiple range test로 유의적 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

LC-ESI-MS 분석

LC-ESI-MS 분석을 통해 꼬리진달래 추출물의 폴리페놀을 프로파일링하여 chlorogenic acid (m/z 354.1), hyperoside (m/z 464.1), astragaloside (m/z 448.1), myricetin (m/z 318.0), afzelin (m/z 432.1), quercetin (m/z 302.0) 등 37개의 폴리페놀 화합물을 확인하였다(Fig. 1, Table 3). 폴리페놀 프로파일링 결과 함량이 높고 기존 진달래속에서 유용물질로 보고되었던

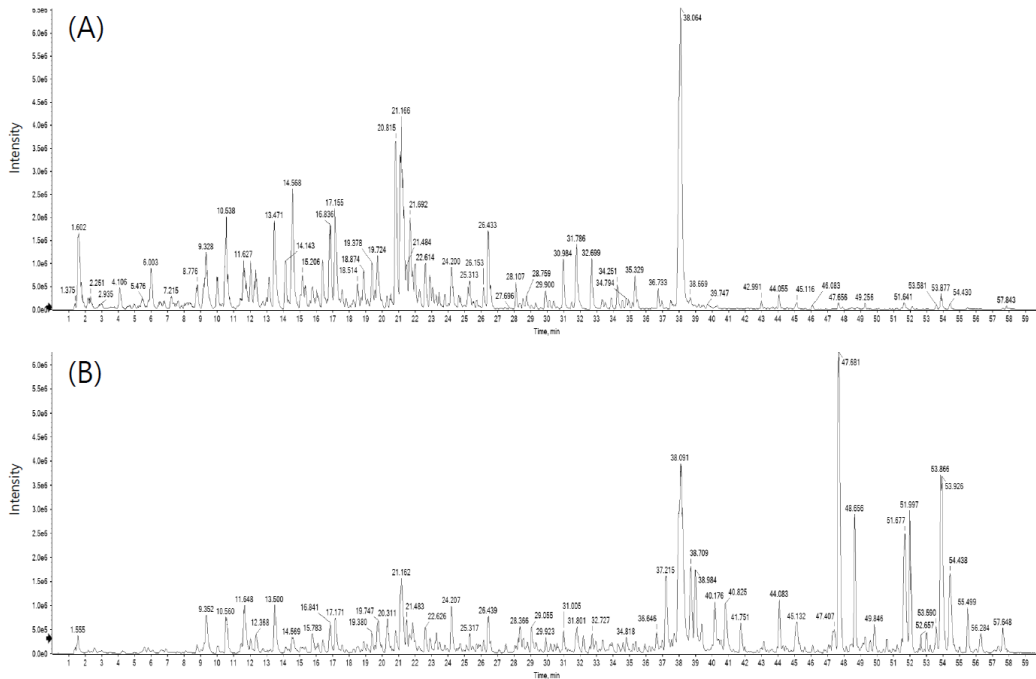


Fig. 1. Total ion chromatogram of MeOH extracts of *R. micranthum* in negative mode (A) and positive mode (B) using LC-ESI-MS.

Table 3. LC-ESI-MS profiling of *R. micranthum* in positive and negative ionization modes.

Retention time (min)	Molecular weight	Proposed structure
4.09	300.1	Benzoic acid + 1O, O-Hex ^y
5.63	306.1	Epigallocatechin ^z
7.23	354.1	Neochlorogenic acid ^y
8.72	340.1	Daphnetin-8-glucoside ^y
9.33	306.1	Gallocatechin ^{zy}
10.04	290.1	Catechin ^{zy}
10.55	354.1	Chlorogenic acid ^{zy}
10.56	180.0	Caffeate ^z
10.71	326.1	Coumaric acid O-glucoside ^y
12.34	578.1	Procyanidin B2 ^{zy}
12.68	370.1	Fraxin ^y
12.77	320.1	Dihydromyricetin ^y
15.05	480.1	Myricetin 3-galactoside ^y
15.35	866.2	Procyanidin C1 ^{zy}
17.14	412.2	Grayanotoxin I ^{zy}
17.19	480.1	Gossypin ^{zy}
17.20	464.1	Spiraeoside ^{zy}
18.88	450.1	Myricetin-3-O-xyloside ^y
19.37	464.1	Hirsutrin ^{zy}
19.73	464.1	Hyperoside ^{zy}
19.78	576.1	Procyanidin A1 ^z
20.52	434.1	Guaiaverin ^y
20.87	434.1	Avicularin ^y
21.07	448.1	Astragalin ^{zy}
21.25	448.1	Trifolin ^y
21.70	318.0	Myricetin ^{zy}
22.63	432.1	Afzelin ^y
23.27	446.1	Sissotrin ^{zy}
23.46	288.1	maesopsin ^y
24.25	302.0	Quercetin ^{zy}
24.52	178.1	p-MeOCinnamicAcid ^z
26.44	286.0	Kaempferol ^{zy}
29.91	300.1	Farrerol ^{zy}
33.89	298.1	Afromosin ^y
34.81	314.1	4-Hydroxy-2',4',6'-trimethoxychalcone ^{zy}
38.90	312.1	5,7,3'-Trimethoxyflavone ^z
40.04	328.1	2',4,4',6'-Tetramethoxychalcone ^z

^zPositive ion mode, ^yNegative ion mode.

(Dai *et al.*, 2021; Gautam *et al.*, 2020; Łyko *et al.*, 2022) chlorogenic acid, astragalin, myricetin, afzelin을 주요 유용 성분으로 선발하였다(Fig. 2).

Chlorogenic acid은 항균 활성이 있으며(Lou *et al.*, 2011), 당뇨, 비만, 알츠하이머와 뇌졸중 치료에 효과가 있고(Eskelinen and Kivipelto, 2010; Lopez-Garcia *et al.*, 2009; Thom, 2007; Van Dam and Hu, 2005), astragalin은 항산화(Bitis *et al.*, 2010), 항염증(Kim *et al.*, 2017), 항암(Burmistrova *et al.*, 2011)의 다양한 약리학적 특성을 가지며, myricetin은 항산화제, 항균제, 항바이러스제, 항당뇨제, 항암제, 항염증제 및 항게양제 등의 효능이 있다(Gupta *et al.*, 2020). Afzelin은 신장염을 개선하며, 항산화 및 항염증 활성을 가진다고 보고되고 있다(Wang *et al.*, 2022).

HPLC-PDA 분석

꼬리진달래의 주요 유용성분으로 선발된 chlorogenic acid, astragalin, myricetin, afzelin의 추출 용매별 함량을 비교한 결과, chlorogenic acid는 6.29 ~ 6.57±0.12 mg/g이었고 에탄올 추출물에서 함량이 가장 높게 나왔으나 추출용매에 따른 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다. Astragalin은 에탄올 추출물에서 함량이 2.29±0.02 mg/g으로 가장 높았으며, 열수 추출물에서 1.35±0.02 mg/g으로 가장 낮았다. Myricetin은 메탄올, 에탄올 추출물에서 각각 4.77±0.06 mg/g, 4.52±0.27 mg/g로 열수 추출물보다 높았다. Afzelin은 메탄올 추출물의 함량이 0.10±0.01 mg/g으로 가장 높았으나 추출용매에 따른 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다(Fig. 3, Table 4).

이전 연구에서는 동일 속인 *R. arboreum* 잎의 chlorogenic acid 함량이 4.01 mg/g (Gautam *et al.*, 2020), *R. przewalskii* 잎의 astragalin 함량이 0.08 mg/g으로 보고되었다(Dai *et al.*, 2021). 또한 *R. luteum* 잎의 myricetin 함량이 1.37 mg/g, afzelin 함량이 0.018 mg/g (Łyko *et al.*, 2022)으로 보고되어 꼬리진달래의 chlorogenic acid, astragalin, myricetin, afzelin 함량이 동일 속의 다른 종보다 높은 것으로 판단되었다.

추출용매에 따른 꼬리진달래 추출물의 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 분석

꼬리진달래의 총 폴리페놀 함량은 에탄올 추출물에서 80.01±2.36 mg/g으로 가장 높았으며, 열수 추출물에서 56.31±1.81 mg/g으로 가장 낮았다. 또한 총 플라보노이드 함량은 에탄올 추출물에서 78.08±3.44 mg/g으로 가장 높았으며, 열수 추출물에

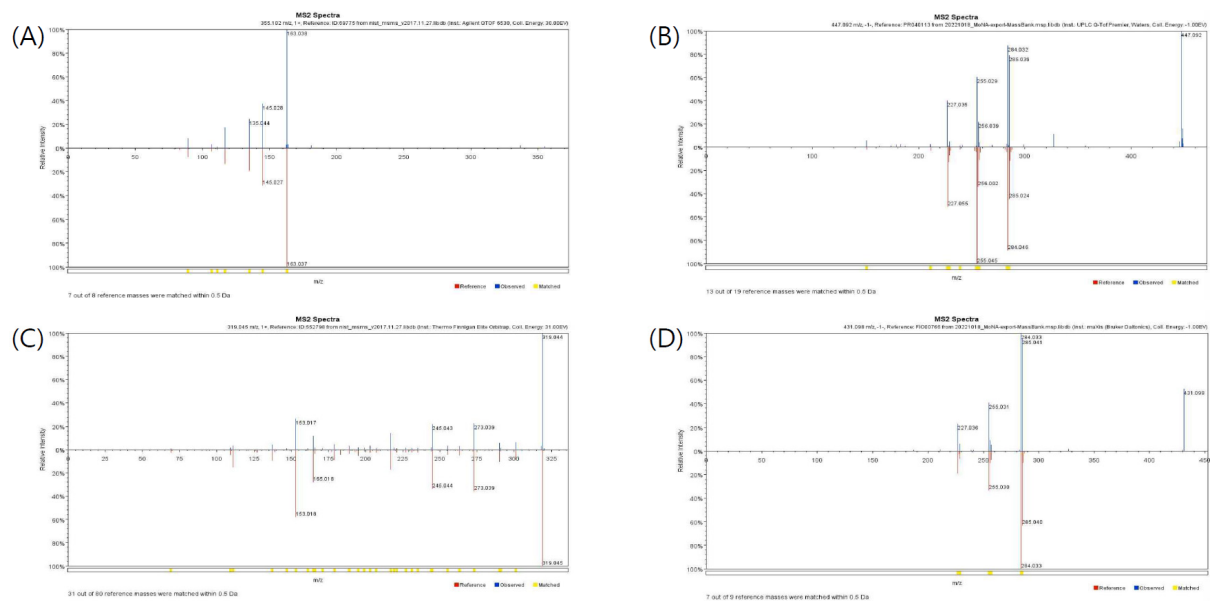


Fig. 2. ESI-MS data of Chlorogenic acid (A), Astragalin (B), Myricetin (C), Afzelin (D).

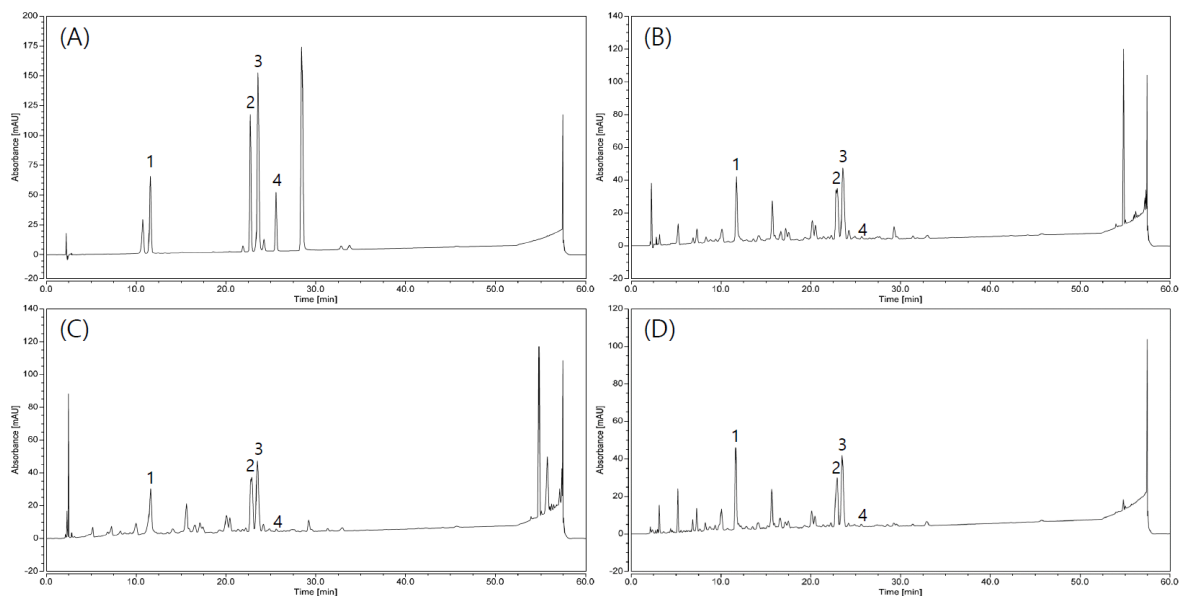


Fig. 3. HPLC chromatogram of the (A) Standards, (B) MeOH, (C) EtOH, (D) Water extracts of *R. micranthum*. 1: Chlorogenic acid, 2: Astragalin, 3: Myricetin, 4: Afzelin.

Table 4. Chlorogenic acid, astragaline, myricetin and afzelin contents of *R. micranthum* depending on the extraction solvents.

Solvent	Contents (mg/g)			
	Chlorogenic acid	Astragaline	Myricetin	Afzelin
Methanol	6.44±0.38	2.03±0.08b ^z	4.77±0.06a	0.10±0.01
Ethanol	6.57±0.12	2.29±0.02a	4.52±0.27a	0.08±0.03
Water	6.29±0.00	1.35±0.02c	4.05±0.00b	0.09±0.00

^zThe different letters (a-c) indicate a significant difference ($p < 0.05$).

Table 5. Total polyphenol and flavonoid contents of *R. micranthum* depending on the extraction solvents.

Solvent	TPC (mgGAE/g)	TFC (mgQE/g)
Methanol	74.64±4.39a ^z	66.10±1.67b
Ethanol	80.01±2.36a	78.08±3.44a
Water	56.31±1.81b	49.82±3.41c

^zThe different letters (a-c) indicate a significant difference ($p < 0.05$).

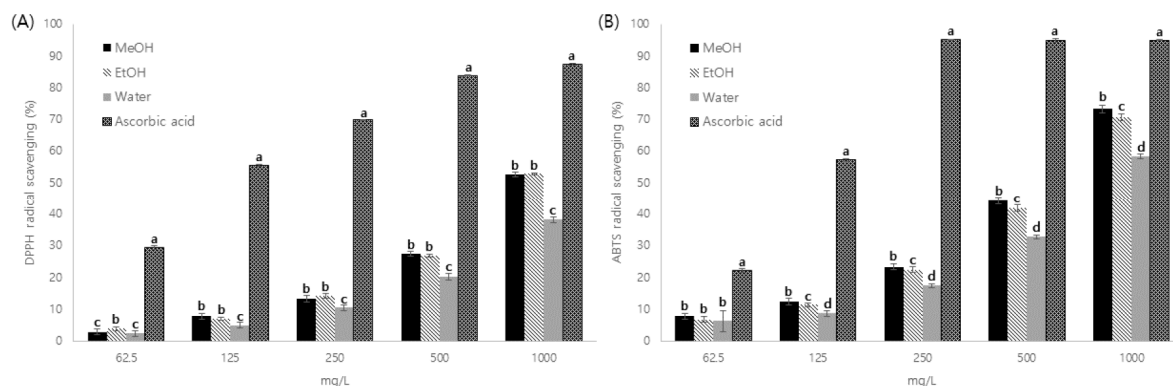


Fig. 4. DPPH (A), ABTS (B) radical scavenging of *R. micranthum* depending on the extraction solvents. The different letters (a-d) indicate a significant difference ($p < 0.05$).

서 49.82±3.41 mg/g으로 가장 낮아 총 폴리페놀 함량과 유사한 경향을 보였다(Table 5). 이는 일반적으로 식물을 이용한 추출 시 유기용매 추출이 열수 추출에 비해 총 폴리페놀 함량과 총 플라보노이드 함량이 높다는 보고와 유사하였다(Sultana *et al.*, 2009). 또한 동일 속의 종들과 비교하여 꼬리진달래의 총 폴리페놀 함량은 *R. anthopogon*의 44.53 mg/g 보다 높았고(Rathore *et al.*, 2018), 총 플라보노이드 함량은 *R. weyrichii*의 16.7 mg/g 보다 높다(Kim *et al.*, 2019), 꼬리진달래의 자원화 가능성을 확인하였다.

추출용매에 따른 꼬리진달래 추출물의 항산화 활성 분석

추출용매에 따른 꼬리진달래 추출물의 항산화 활성을 확인하기 위해 DPPH, ABTS radical 소거활성을 측정하였으며 농도의존적으로 항산화 활성이 증가하는 것을 확인하였다(Fig. 4). 꼬리진달래의 DPPH radical 소거활성의 IC₅₀값은 메탄올 추출물에서 943.57±10.68 mg/L로 가장 낮았으며, 열수 추출물에서 1,329.58±16.04 mg/L로 가장 높았다(Table 6). 동일 속인 *R. brachycarpum* 잎의 에탄올 추출물의 IC₅₀값은 2,648.13 mg/L로 꼬리진달래 추출물보다 높았으나(Choi and Rhim, 2011) *R. anthopogonoides* 에탄올 추출물의 IC₅₀값은 621.03 mg/L로 꼬리진달래의 추출물보다 낮았다(Jing *et al.*, 2015).

Table 6. DPPH, ABTS IC₅₀ values of *R. micranthum* depending on the extraction solvents.

Solvent	DPPH (IC ₅₀ , mg/L)	ABTS (IC ₅₀ , mg/L)
Methanol	943.57±10.68b ^z	641.60±7.58c
Ethanol	944.25±4.37b	671.23±6.82b
Water	1,329.58±16.04a	837.73±2.77a

^zThe different letters (a-c) indicate a significant difference ($p < 0.05$).

ABTS radical 소거활성의 IC₅₀값은 메탄올 추출물에서 641.60±7.58 mg/L로 가장 낮았으며, 열수 추출물에서 837.73±2.77 mg/L로 가장 높아 DPPH radical 소거활성과 유사한 경향을 보였다(Table 6). *R. anthopogonoides* 에탄올 추출물의 IC₅₀값은 536.39 mg/L로 꼬리진달래 추출물보다 낮았다(Jing *et al.*, 2015). DPPH는 free radical을 제거하는 방법이고, ABTS는 positive ion radical을 제거하는 방법이기 때문에 radical에 결합하여 제거하는 정도가 달라 radical 소거활성에 차이가 발생할 수 있다(Meir *et al.*, 1995). 또한 유기용매 추출물의 항산화 활성이 열수 추출물보다 높은 것은 유기용매 추출물의 총 폴리페놀 함량이 열수 추출물보다 높은 영향으로 생각되며, 이러한 경향은 폴리페놀 함량이 항산화 활성과 상관관계가 있다는 보고와 유사하였다(Arnous *et al.*, 2001).

이러한 결과를 종합하여 볼 때, 꼬리진달래는 자원화 가능성을 가지고 있으며, 건강기능성 소재로의 개발을 위해 추후 세포 및 동물 실험을 통한 추가적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 꼬리진달래의 자원식물 개발을 위한 정보를 제공하고자 수행되었다. 꼬리진달래 신초 추출물의 폴리페놀 프로파일링을 통해 유용성분을 선별하고, 추출용매에 따른 유용성분 함량과 항산화 활성을 비교하였다. 꼬리진달래 신초 추출물에서 37개의 폴리페놀 화합물을 확인하였으며, chlorogenic acid, astragalín, myricetin, afzelin의 추출용매별 함량을 비교한 결과, chlorogenic acid의 함량은 에탄올 추출물에서 6.57 ± 0.12 mg/g이었고, astragalín의 함량은 에탄올 추출물에서 2.29 ± 0.02 mg/g, myricetin의 함량은 메탄올 추출물에서 4.77 ± 0.06 mg/g, afzelin의 함량은 메탄올 추출물에서 0.10 ± 0.01 mg/g이었다. 꼬리진달래 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량은 80.01 ± 2.36 mg/g, 총 플라보노이드 함량은 78.08 ± 3.44 mg/g이었다. 또한 꼬리진달래 메탄올 추출물의 DPPH radical 소거활성 IC_{50} 값은 943.57 ± 10.68 mg/L였으며, ABTS radical 소거활성 IC_{50} 은 641.60 ± 7.58 mg/L였다. 꼬리진달래는 유기용매 추출 시 유용성분과 항산화 활성이 높았고, 동일 속의 종들과 비교하여 높은 함량의 chlorogenic acid, astragalín, myricetin, afzelin을 함유하고 있어 향후 건강기능성 소재로의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

Arnous, A., D.P. Makris and P. Kefalas. 2001. Effect of principal polyphenolic components in relation to antioxidant characteristics of aged red wines. *J. Agric. Food Chem.* 49(12):5736-5742.

Bitis, L., S. Kultur, G. Melikoglu, N. Ozsoy and A. Can. 2010. Flavonoids and antioxidant activity of *Rosa agrestis* leaves. *Nat. Prod. Res.* 24(6):580-589.

Burmistrova, O., J. Quintana, J.G. Díaz and F. Estévez. 2011. Astragalín heptaacetate-induced cell death in human leukemia

cells is dependent on caspases and activates the MAPK pathway. *Cancer Letters* 309(1):71-77.

Cha, J.Y., H.J. Kim, C.H. Chung and Y.S. Cho. 1999. Antioxidative activities and contents of polyphenolic compound of *Cudrania tricuspidata*. *J Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 28(6):1310-1315 (in Korean).

Choi, M.Y. and T.J. Rhim. 2011. Antimicrobial effects against food-borne pathogens and antioxidant activity of *Rhododendron brachycarpum* extract. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40(10): 1353-1360 (in Korean).

Dai, L., J. He, X. Miao, X. Guo, X. Shang, W. Wang, B. Li, Y. Wang, H. Pan and J. Zhang. 2021. Multiple biological activities of *Rhododendron przewalskii* Maxim. extracts and UPLC-ESI-Q-TOF/MS characterization of their phytochemical composition. *Frontiers in Pharmacology* 12:599778.

Eskelinen, M.H. and M. Kivipelto. 2010. Caffeine as a protective factor in dementia and Alzheimer's disease. *J. Alzheimer's Disease* 20(s1):S167-S174.

Gautam, V., A. Sharma, S. Arora, R. Bhardwaj, A. Ahmad, B. Ahamad and P. Ahmad. 2020. *In-vitro* antioxidant, antimutagenic and cancer cell growth inhibition activities of *Rhododendron arboreum* leaves and flowers. *Saudi J. Biological Sci.* 27(7):1788-1796.

Grimbs, A., A. Shrestha, A.S.D. Rezk, S. Grimbs, I. Hakeem Said, H. Schepker, M.T. Hütt, D.C. Albach, K. Brix, N. Kuhnert and M.S. Ullrich. 2017. Bioactivity in rhododendron: A systemic analysis of antimicrobial and cytotoxic activities and their phylogenetic and phytochemical origins. *Front. Plant Sci.* 8:551.

Gupta, G., M.A. Siddiqui, M.M. Khan, M. Ajmal, R. Ahsan, M.A. Rahaman, M.A. Ahmad, M. Arshad and M. Khushtar. 2020. Current pharmacological trends on myricetin. *Drug Res.* 70(10):448-454.

Jing, L., H. Ma, P. Fan, R. Gao and Z. Jia. 2015. Antioxidant potential, total phenolic and total flavonoid contents of *Rhododendron anthopogonoides* and its protective effect on hypoxia-induced injury in PC12 cells. *BMC Complement. Altern. Med.* 15:1-12.

Jung, S.J., D.H. Kim, Y.H. Hong, J.H. Lee, H.N. Song, Y.D. Rho and N.I. Baek. 2007. Flavonoids from the flower of *Rhododendron yedoense* var. *poukhanense* and their antioxidant activities. *Arch. Pharm. Res.* 30:146-150.

Kang, B.H. 2008. Korean natural plant and resource plant. *Korean J. Weed Sci.* 28(1):12-16 (in Korean).

Kim, G.B., K.S. Shin, C.M. Kim and Y.S. Kwon. 2006.

- Flavonoids from the leaves of *Rhododendron schlipenbachii*. Korean J. Pharm. 37(3):177-183 (in Korean).
- Kim, J.E., S.M. Jo and N.H. Lee. 2019. Anti-oxidative and anti-bacterial constituents from the extracts of *Rhododendron weyrichii* leaves. J. Soc. Cosmet. Sci. Korea 45(4):341-351 (in Korean).
- Kim, J.Y., J.Y. Lee, W.Y. Lee, Y.S. Yi and Y.H. Lim. 2010. Anti-oxidant property and inhibition of melanin synthesis of eight plant extracts. Microbiol. Biotechnol. Letters 38(4): 414-419.
- Kim, K.D. and S.J. Kim. 2007. The study on the efficacy of herbal plant extracts by the part and solvent extraction. J. Soc. Cosmet. Sci. Korea 33(2):127-135 (in Korean).
- Kim, M.G., M.J. Kwon and K.M. Ku. 2022. Effects of freeze drying, room-temperature drying, and room-temperature drying after roasting on volatile compounds sugar content, flavonoids, and antioxidant activity of Hallabong (*Citrus sphaerocarpa* Tanka nom. nud.) peel tea. Korean J. Plant Res. 35(4):455-463 (in Korean).
- Kim, M.J., S.M. Yu, D.Y. Kim, T.I. Heo, J.W. Lee, J. Park, C.S. Park and Y.S. Kim. 2018. Physicochemical characterization of fermented *Rhododendron micranthum* Turcz. extract and its biological activity. J. Life Sci. 28(8):938-944 (in Korean).
- Kim, Y.H., Y.J. Choi, M.K. Kang, S.H. Park, L.D. Antika, E.J. Lee, D.Y. Kim and Y.H. Kang. 2017. Astragaloside inhibits allergic inflammation and airway thickening in ovalbumin-challenged mice. J. Agric. Food Chem. 65(4):836-845.
- Korea national arboretum. 2021. The National Red List of Vascular Plants in Korea. 305. DESIGNPOST, Pocheon, Gyeonggi, Korea.
- Lee, H.H., J.S. Kim, J.H. Jeong, C.S. Kim and S.Y. Lee. 2023a. Comparative analysis of antioxidant, anti aging and phenolic compounds of different solvent extracts from *Saccharina japonica* and *Costaria costata*. Korean J. Plant Res. 36(2): 107-121 (in Korean).
- Lee, K.J., H.M. Seo, S.A. Lee, J.H. Kim and H.L. Kim. 2023b. Antioxidant activity, total polyphenol content, and total flavonoid content of *Boehmeria nivea* var. *tenacissima* (Gaudich.) Miq. collected from six regions. Korean J. Plant Res. 36(1):1-14 (in Korean).
- Lee, J.D., H.B. Hyun, H.J. Hyeon, E.B. Jang, M.H. Ko, W.J. Yoon, Y.M. Ham, Y.H. Jung, H.C. Choi, E.G. O and D.J. Oh. 2022. Mass proliferation of *Hibiscus hamabo* adventitious root in an air-lift bioreactor, and the antioxidant and whitening activity of the extract. Korean J. Plant Res. 35(4):435-444 (in Korean).
- Lee, J.H., W.J. Jeon, E.S. Yoo, C.M. Kim and Y.S. Kwon. 2005a. The chemical constituents and their antioxidant activity of the stem of *Rhododendron mucronulatum*. Nat. Prod. Sci. 11(2):97-102.
- Lee, S.O., H.J. Lee, M.H. Yu, H.G. Im and I.S. Lee. 2005b. Total polyphenol contents and antioxidant activities of methanol extracts from vegetables produced in Ullung island. Korean J. Food Sci. Technol. 37(2):233-240 (in Korean).
- Lopez-Garcia, E., F. Rodriguez-Artalejo, K.M. Rexrode, G. Logroscino, F.B. Hu and van R.M. Dam. 2009. Coffee consumption and risk of stroke in women. Circulation 119(8):1116-1123.
- Lou, Z., H. Wang, S. Zhu, C. Ma and Z. Wang. 2011. Antibacterial activity and mechanism of action of chlorogenic acid. J. food Sci. 76(6):M398-M403.
- Lyko, L., M. Olech and R. Nowak. 2022. LC-ESI-MS/MS characterization of concentrated polyphenolic fractions from *Rhododendron luteum* and their anti-inflammatory and antioxidant activities. Molecules 27(3):827.
- Meir, S., J. Kanner, B. Akiri and S. Philosoph-Hadas. 1995. Determination and involvement of aqueous reducing compounds in oxidative defense systems of various senescing leaves. J. Agric. Food Chem. 43(7):1813-1819.
- Oh, C.J., H.O. Kim, E.S. Jung, S.H. Lee, G.Y. Jeon and Y.C. Kim. 2018. Anti-wrinkle and skin-whitening efficacy of *Rhododendron micranthum* methanol extract. J. Investig. Cosmet. 14(4):405-411 (in Korean).
- Rathore, N., D. Thakur and A. Chawla. 2018. Seasonal variations coupled with elevation gradient drives significant changes in eco-physiological and biogeochemical traits of a high altitude evergreen broadleaf shrub, *Rhododendron anthopogon*. Plant Physiol. Biochem. 132:708-719.
- Shahidi, F., and J.D. Yeo. 2018. Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: A review. International J. Mol. Sci. 19(6):1573.
- Song, J.H., S.G. Yang, G.Y. Choi and B.C. Moon. 2020. Analysis on the trends of Korean health functional food patent based on the medicinal plant resources. Korean Herb. Medi. Inf. 8(1):25-44 (in Korean).
- Sultana, B., F. Anwar and M. Ashraf. 2009. Effect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. Molecules 14(6):2167-2180.
- Tapsell, L.C., I. Hemphill, L. Cobiac, D.R. Sullivan, M. Fenech, C.S. Patch, S. Roodenrys, J.B. Keogh, P.M. Clifton and P.G.

- Williams. 2006. Health benefits of herbs and spices: the past, the present, the future. *Medi. J. Aust.* 185:S1-S21.
- Thom, E. 2007. The effect of chlorogenic acid enriched coffee on glucose absorption in healthy volunteers and its effect on body mass when used long-term in overweight and obese people. *J. Int. Medi. Res.* 35(6):900-908.
- Van Dam, R.M. and F.B. Hu. 2005. Coffee consumption and risk of type 2 diabetes: a systematic review. *Jama* 294(1): 97-104.
- Wang, J., Y. Xu, X. Yu and T. Gao. 2022. Afzelin alleviates sepsis induced kidney injury through Nrf2/Ho-1 and p38 MAPK signaling pathways. *Curr. Topic. Nutraceutical Res.* 20(2):386-392.
- Youn, H.S. and J.H. Cho. 1991. Isolation and structure elucidation of triterpenoidal constituents from the leaves of *Rhododendron brachycarpum*. *Korean J. Pharm.* 22(1):18-21.

(Received 20 February 2024 ; Revised 10 March 2024 ; Accepted 11 March 2024)