

# 산림자원 10종의 항산화 및 항염증 활성 비교 연구

이명선 · 주인환 · 박종민 · 김동희\*

대전대학교 한의과대학 병리학교실

## Comparative Study on the Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Ten Forest Resources

Myung-Sun Lee, In-Hwan Joo, Jong-Min Park, Dong-Hee Kim\*

Department of Pathology, College of Korean Medicine, Daejeon University

Oxidative stress, caused by excessive production of reactive oxygen species (ROS), is a major contributor to cellular damage and chronic inflammation. Natural products derived from forest resources are gaining attention as safer alternatives to synthetic antioxidants. This study aimed to evaluate and compare the antioxidant and anti-inflammatory activities of ethanol extracts from ten native forest resources traditionally used in Korea: Ginkgo biloba Linné, Thuja orientalis Linnaeus, Rhynchosia volubilis Lour, Diospyros kaki Linnaeus, Orostachys japonicus A. Berger, Agrimonia pilosa Ledebour, Potentilla chinensis Seringe, Gleditsia japonica Miquel, Citrus unshiu Markovich, and Rosa rugosa Thunberg. Total polyphenol and flavonoid contents were determined, along with antioxidant capacities assessed by DPPH and ABTS radical scavenging assays and FRAP analysis. Furthermore, cellular antioxidant effects were evaluated using LPS-stimulated RAW264.7 macrophages by measuring intracellular ROS levels. The results showed that Rosa rugosa, Agrimonia pilosa, Potentilla chinensis, and Diospyros kaki demonstrated strong antioxidant activities across multiple indicators, with Rosa rugosa showing the highest overall performance. These extracts also significantly inhibited ROS production in activated macrophages without cytotoxicity. This comprehensive evaluation suggests that selected native forest resources possess promising potential as functional food ingredients or natural antioxidant agents. Further studies to isolate active compounds and elucidate their mechanisms of action are warranted to support their development for pharmaceutical or nutraceutical applications.

keywords : Antioxidant, Anti-inflammatory, Forest Resources, Oxidative stress, Reactive oxygen species

### 서론

산화적 스트레스(oxidative stress)는 생체 내에서 생성되는 활성산소종(reactive oxygen species, ROS) 및 활성질소종(reactive nitrogen species, RNS)이 과잉 축적되어 항산화 방어체계를 초과할 때 발생하는 현상으로, 이는 세포막, 단백질, DNA 등의 생체 분자에 손상을 초래하고 세포사멸(apoptosis)과 염증 반응을 유도함으로써 다양한 질병의 병태생리에 기여한다<sup>1,2)</sup>. 그리고 산화적 스트레스는 노화뿐만 아니라 심혈관계 질환, 신경퇴행성 질환, 당뇨병, 암 등 주요 만성 질환의 발생 및 진행과 밀접한 연관이 있음이 여러 연구를 통해 보고되었다<sup>3)</sup>. 또한, 산화적 스트레스는 면역계의 불균형과 결합되어 만성 염증 상태를 지속시키며, 이는 염증성 케모카인과 사이토카인의 과잉 생성으로 이어져 조직 손상을 가중시킨다<sup>4)</sup>.

이러한 산화적 스트레스를 감소시키기 위해 화장품, 식품 및

의약품 등 다양한 산업분야에서 butylated hydroxyanisole (BHA) 또는 butylated hydroxytoluene (BHT)와 같은 합성 항산화제를 사용해왔으나 다양한 연구들을 통해 암 유발, 세포 독성, 유전자 변형 등 심각한 부작용이 확인되었다<sup>5,6)</sup>. 이를 극복하기 위해 합성 항산화제보다 안전하고 효과는 우수한 천연물 또는 천연물 유래 소재들에 대한 연구가 지속되고 있다. 특히 천연물은 오랜 전통적 사용과 함께 독성 및 부작용에 대한 안전성이 비교적 확보되어 있어 기능성 식품, 의약품, 화장품 등의 원료로서 높은 활용 가치를 지닌다<sup>7)</sup>. 천연물에는 다양한 페놀성 화합물(phenolic compounds)과 플라보노이드(flavonoids), 알칼로이드(alkaloids) 등을 함유하고 있으며, 이들은 항산화 효소 활성 증가, 라디칼 소거 작용, 금속이온 킬레이션(chelation), 염증 매개물질 억제 등의 기전을 통해 생리적 항상성 유지에 기여한다는 것이 보고되고 있다<sup>8)</sup>.

우리나라에서 자생하는 식물은 2020년 현재 5,517종이 확인되었으며, 다른 온대 지역들에 비해 상대적으로 풍부한 종 다양성과

\* Corresponding author

Dong-Hee Kim, Department of Pathology, College of Korean Medicine, Daejeon University, Daejeon 34520, Republic of Korea

E-mail : dhkim@dju.kr Tel : +82-42-280-2623

Received : 2025/07/15 Revised : 2025/08/22 Accepted : 2025/09/08

© The Society of Pathology in Korean Medicine, The Physiological Society of Korean Medicine

pISSN 1738-7698 eISSN 2288-2529 http://dx.doi.org/10.15188/kjopp.2025.10.39.5.113

Available online at https://kmpath.jams.or.kr

높은 특산율을 나타내고 있는데 이는 우리나라의 국토가 크기에 비해 다양한 자연 환경을 갖고 있다는 것을 의미한다<sup>9)</sup>. 따라서 이러한 국내 자생 식물을 활용한 소재 개발에 대한 다양한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 전통적으로 약용 또는 식용으로 사용되어 온 백과(*Ginkgo biloba* Linné), 백자인(*Thuja orientalis* Linnaeus), 서목태(*Rhynchosia volubilis* Lour), 시엽(*Diospyros kaki* Linnaeus), 와송(*Orostachys japonicus* A. Berger), 용아초(*Agrimonia pilosa* Ledebour), 위릉채(*Potentilla chinensis* Seringe), 조협(*Gleditsia japonica* Miquel), 진피(*Citrus unshiu* Markovich), 해당화(*Rosa rugosa* Thunberg) 등 총 10종의 산림 자원을 대상으로 항산화 활성을 평가 및 비교하고자 한다. 이들 자원은 『동의보감』 및 『본초강목』 등 한의학 고서에서 다양한 질환의 치료에 이용된 기록이 있으며, 최근에도 생리활성 소재로서의 활용 가능성에 대한 연구가 일부 진행되고 있으나 동일한 조건에서 추출물을 비교 분석하고, 항산화 및 항염증 활성을 통합적으로 평가한 연구는 매우 드문 실정이다. 특히, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능, FRAP(ferric reducing antioxidant power) 분석, 그리고 대식세포주(RAW264.7)를 이용한 세포 수준에서의 ROS 생성 억제 효과까지 연계하여 비교평가한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 상기 10종 산림자원의 에탄올 추출물을 대상으로 총 폴리페놀 함량(total polyphenol content), 총 플라보노이드 함량(total flavonoid content), DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능, FRAP 활성 등을 분석함으로써 항산화 성분의 정량 및 항산화 활성을 평가하고자 하였다. 아울러 마우스 유래 대식세포주인 RAW264.7 세포를 이용하여 LPS (lipopolysaccharide) 자극에 의한 reactive oxygen species (ROS) 생성 억제 효과를 측정하여 세포 내 항산화 활성을 통합적으로 분석함으로써, 이들 자원이 기능성 식품 또는 천연 항산화 제제로서의 활용 가능성을 제시하고 향후 유효성분 규명 및 작용기전 연구의 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 산림 자원 추출물 제조

각 산림 자원 100 g에 70% 에탄올 1 L를 첨가하여 상온에서 24시간 동안 추출하였으며, 동일한 과정을 2회 반복하였다. 추출액은 rotary evaporator (EYELA, Japan)를 이용하여 감압 농축한 후, freeze drier (Labconco, USA)를 사용하여 동결건조하였다. 동결건조가 완료된 시료는 -20°C에 보관하였으며, 실험 당일 소분하여 증류수에 용해한 후 사용하였다. 본 연구에 사용된 산림 자원의 학명 및 사용 부위는 Table 1에 제시하였다.

### 2. 총 폴리페놀 함량 측정

각 시료를 1 mg/mL 농도로 준비한 후, 시료 1 mL와 50% Folin-Ciocalteu's phenol reagent (Sigma-Aldrich, USA) 0.5 mL를 혼합하여 실온에서 5분간 반응시켰다. 이후 1 M sodium carbonate (Sigma-Aldrich, USA) 1 mL와 증류수 7.5 mL를 차례

로 첨가하여 혼합한 후 30분간 실온에서 반응시켰다. 반응 혼합물의 흡광도는 760 nm에서 microplate reader (Molecular Devices, USA)를 사용하여 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 gallic acid (Sigma-Aldrich, USA)를 표준물질로 하여 작성한 검량선을 바탕으로 계산하였다.

Table 1. The information of native forest resources

Label	Herbal name	Scientific name	Parts
A	白 果	<i>Ginkgo biloba</i> Linné	Seed
B	柏 子 仁	<i>Thuja orientalis</i> Linnaeus	Seed
C	鼠 目 太	<i>Rhynchosia volubilis</i> Lour	Seed
D	柿 葉	<i>Diospyros kaki</i> Linnaeus	Leaf
E	瓦 松	<i>Orostachys japonicus</i> A. Berger	Leaf, Stem
F	龍 牙 草	<i>Agrimonia pilosa</i> Ledebour	Leaf, Stem
G	萎 陵 菜	<i>Potentilla chinensis</i> Seringe	Leaf, Stem, Root
H	阜 莢	<i>Gleditsia japonica</i> Miquel	Fruit
I	陳 皮	<i>Citrus unshiu</i> Markovich	Fruit peel
J	海 棠 花	<i>Rosa rugosa</i> Thunberg	Flower

### 3. 총 플라보노이드 함량 측정

각 시료를 1 mg/mL 농도로 준비한 후, 시료 500 µL에 10% aluminium nitrate (Sigma-Aldrich, USA)와 1 M potassium acetate (Sigma-Aldrich, USA)를 각각 100 µL씩 첨가하여 실온에서 5분간 반응시켰다. 이어서 80% 에탄올 4.3 mL를 첨가하고 상온에서 30분간 반응시킨 후, 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드 함량은 quercetin을 표준물질로 하여 작성한 검량선에 따라 계산하였다.

### 4. DPPH 라디칼 소거능 측정

각 시료는 100 µg/mL 농도로 준비하였고, DPPH (Sigma-Aldrich, USA)는 에탄올에 용해하여 1 mM 농도로 제조하였다. 시료 100 µL와 200 µM로 희석한 DPPH 용액 150 µL를 혼합하여 37°C에서 30분간 반응시킨 후, 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 대조군은 증류수를, DPPH 용액의 대조군은 에탄올을 사용하였다. DPPH 라디칼 소거능은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{소거능(\%)} = \left( \frac{\text{대조군의 흡광도} - \text{시료 첨가군의 흡광도}}{\text{대조군의 흡광도}} \right) \times 100$$

### 5. ABTS 라디칼 소거능 측정

ABTS (Sigma-Aldrich, USA)는 7.4 mM 농도로 potassium persulfate (Sigma-Aldrich, USA) 2.6 mM 용액에 녹인 후, 암실에서 24시간 반응시켜 ABTS<sup>+</sup>를 형성하였다. 사용 전, ABTS 용액의 흡광도가 1.5 이하가 되도록 희석하여 준비하였다. 시료는 100 µg/mL 농도로 제조하고, 시료 10 µL와 희석한 ABTS 용액 190 µL를 혼합하여 상온에서 10분간 반응시킨 후, 732 nm에서 흡광도를 측정하였다. ABTS 라디칼 소거능은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{소거능(\%)} = \left( \frac{\text{대조군의 흡광도} - \text{시료 첨가군의 흡광도}}{\text{대조군의 흡광도}} \right) \times 100$$

## 6. FRAP 활성 측정

각 시료를 100 µg/mL 농도로 준비하였으며, FRAP reagent는 300 mM sodium acetate buffer (pH 3.6), 40 mM hydrochloric acid에 용해한 10 mM TPTZ (Sigma-Aldrich, USA)와 20 mM iron(III) chloride (Sigma-Aldrich, USA)를 10:1:1 (v/v/v) 비율로 혼합하여 제조하였다. 시료 100 µL와 증류수 900 µL를 혼합한 후, FRAP reagent 2 mL을 첨가하여 실온에서 30분간 반응시킨 후, 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. FRAP 값은 trolox (Sigma-Aldrich, USA)를 표준물질로 작성한 검량선을 기준으로 계산하였다.

## 7. 세포 배양

마우스 유래 대식세포주인 RAW264.7 세포는 한국세포주은행(Korean Cell Line Bank; KCLB, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 세포는 10% fetal bovine serum (FBS; WELGENE, Korea)이 첨가된 dulbecco's modified eagle's medium (DMEM; WELGENE, Korea)을 이용하여 37°C, 5% CO<sub>2</sub> 조건의 세포배양기에서 배양하였다. 세포의 계대배양은 2-3일 간격으로 수행하였다.

## 8. 세포 생존율 측정

RAW264.7 세포를 48 well plate에 2×10<sup>4</sup> cells/well로 분주하여 24시간 동안 배양한 후, 각 시료를 100 µg/mL 농도로 처리하고 다시 24시간 동안 배양하였다. 배양이 종료된 후, 각 well에 EZ-Cytox solution (DoGenBio, Korea)을 첨가하고 37°C의 세포배양기에서 50분간 반응시켰다. 이후 450 nm 파장에서 microplate reader (Molecular Devices, USA)를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도 값을 바탕으로 대조군 대비 세포 생존율을 백분율(%)로 계산하였다.

## 9. Reactive oxygen species 생성량 측정

RAW264.7 세포를 6 well plate에 1×10<sup>5</sup> cells/well로 분주하여 24시간 동안 배양한 후, 각 시료를 100 µg/mL 농도로 처리하고 lipopolysaccharide (LPS, Sigma-Aldrich, USA)를 1 µg/mL 농도로 함께 처리하여 24시간 동안 추가 배양하였다. 배양이 종료된 후, 세포를 수거하여 차가운 PBS로 1회 세척하고, 10 µM 2',7'-Dichlorofluorescein diacetate (DCF-DA; Sigma-Aldrich, USA)로 염색하여 37°C에서 15분간 반응시켰다. 반응 후, 차가운 PBS로 다시 세척하여 잔여 DCF-DA를 제거하고 flow cytometry system (BD Biosciences, USA)을 이용하여 세포 내 활성산소종 생성량을 분석하였다.

## 10. 통계처리

연구 결과는 mean±standard deviation of mean으로 나타내었으며, SPSS statistics version 21.0(IBM, USA)을 이용하였으며, 집단 간의 차이를 검정하기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고 유의한 차이가 있는 경우 Tukey의 HSD 사후검정을 시행하였다. p < 0.05를 통계적 유의 수준으로 판정하였다.

# 결 과

## 1. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 비교

총 폴리페놀 함량(Total Polyphenol Content, TPC)은 gallic acid를 기준으로 환산하였으며, 시료 간 유의한 차이를 보였다. 해당화(J)가 243.21 mg GAE/g으로 가장 높은 함량을 나타냈고, 시엽(D, 117.11 mg GAE/g), 용아초(F, 147.33 mg GAE/g), 와송(E, 99.97 mg GAE/g) 순으로 높은 함량을 보였다. 반면 백과(A)는 17.28 mg GAE/g으로 가장 낮은 함량을 보였다. 또한 총 플라보노이드 함량(Total Flavonoid Content, TFC)은 quercetin을 기준으로 환산하였으며, 용아초(F)가 39.1 mg QE/g으로 가장 높은 함량을 나타냈다. 그 다음 시엽(D, 23.73 mg QE/g), 와송(E, 23.51 mg QE/g), 위릉채(G, 20.05 mg QE/g) 순으로 높은 함량을 보였으며, 백과(A)가 4.86 mg QE/g으로 가장 낮은 함량을 보였다.

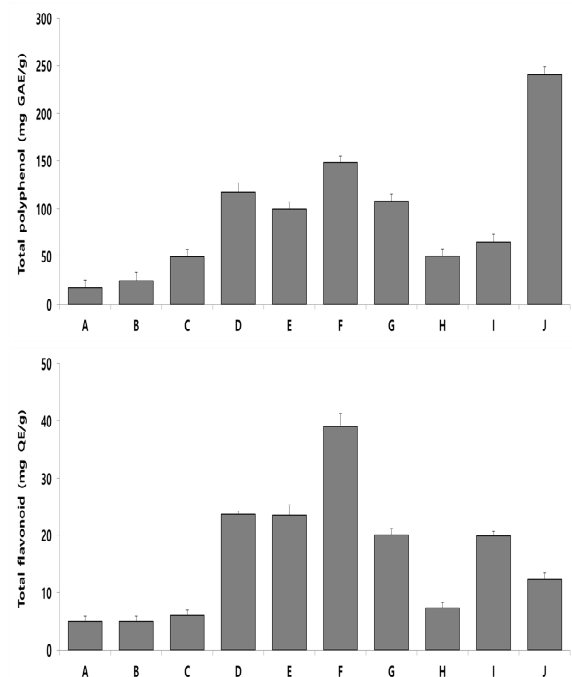


Fig. 1. Total polyphenol and flavonoid contents of forest resource extracts. The total polyphenol content was expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) per g extract, and the total flavonoid content was expressed as mg quercetin equivalents (QE) per g extract. Each value represents the mean ± SD of triplicate experiments.

## 2. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능

DPPH 라디칼 소거능 측정 결과, 해당화(J)가 75.64%로 가장 높은 소거 활성을 나타냈으며, 와송(E, 74.01%), 위릉채(G, 68.91%), 용아초(F, 66.39%) 등도 상대적으로 높은 활성을 보였고 백과(A)는 5.37%로 가장 낮은 소거 활성을 나타냈다. 그리고 ABTS 라디칼 소거능 역시 해당화(J, 93.12%), 용아초(F, 77.88%), 시엽(D, 67.45%), 위릉채(G, 58.22%) 등의 순으로 높은 소거 활성을 나타냈으며, 백과(A) 12.10%로 가장 낮은 소거 활성을 나타냈다. 특히, 대부분의 시료에서 DPPH 보다 ABTS 라디칼에 대한 소거능이 더 높게 나타나는 경향을 보였다.



Fig. 2. DPPH and ABTS radical scavenging activities of forest resource extracts. DPPH and ABTS radical scavenging activities were measured at 517 nm and 732 nm, respectively. Results are presented as percentages of radical scavenging capacity. Each value represents the mean  $\pm$  SD of triplicate experiments.

### 3. FRAP 활성

FRAP(Ferric Reducing Antioxidant Power) 활성 분석 결과, 해당화(J)가 119.66  $\mu\text{mol TE/g}$ 으로 가장 높은 환원력을 보였으며, 위령채(G, 126.47  $\mu\text{mol TE/g}$ ), 시엽(D, 111.47  $\mu\text{mol TE/g}$ ), 용아초(F, 101.24  $\mu\text{mol TE/g}$ ) 순으로 높은 환원력이 나타났다. 그러나 백과(A)는 14.03  $\mu\text{mol TE/g}$ 으로 가장 낮은 환원 활성을 나타냈다.

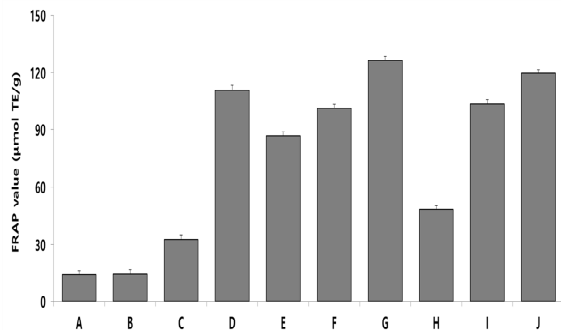


Fig. 3. Ferric reducing antioxidant power (FRAP) of forest resource extracts. FRAP activity was determined based on the reduction of  $\text{Fe}^{3+}$  to  $\text{Fe}^{2+}$  and expressed as  $\mu\text{mol trolox (TE)}$  equivalents per g extract. Each value represents the mean  $\pm$  SD of triplicate experiments.

### 4. 세포 생존율

RAW264.7 세포에 각 시료(100  $\mu\text{g/ml}$ )를 24시간 처리한 후 세포 생존율을 평가한 결과, 모든 시료는 98% 이상의 생존율을 유지하며 세포 독성이 나타나지 않았다. 특히 용아초, 시엽, 백과, 해당화 등은 대조군 대비 105% 이상의 생존율을 보여 세포 증식 효과를 나타내는 경향도 관찰되었다. 이는 해당 농도에서 시료가 RAW264.7 세포에 대해 안전함을 의미하기에 이후 실험에서 시료

의 농도를 100  $\mu\text{g/ml}$ 로 설정하여 처리하였다.

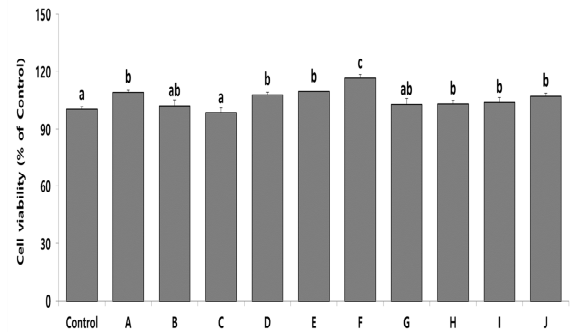


Fig. 4. Effects of forest resource extracts on RAW264.7 cell viability. RAW264.7 cells were treated with 100  $\mu\text{g/ml}$  of each extract for 24 h. Cell viability was determined using EZ-Cytox assay. Results are expressed as a percentage of the untreated control group. And represents the mean  $\pm$  SD of triplicate experiments. Statistical significance was determined by one-way ANOVA followed by Tukey's HSD post-hoc test. Groups sharing the same letter are not significantly different, while groups with different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

### 5. 세포 내 활성산소종(ROS) 생성 억제 효과

LPS로 유도된 염증 상태의 RAW264.7 세포에서 활성산소종(ROS) 생성량을 DCF-DA 염색 및 유세포분석을 통해 측정된 결과, 대부분의 시료가 LPS 처리군에 비해 ROS 생성을 유의하게 억제하였다. 특히 해당화(J, -49.60%), 용아초(F, -43.08%), 위령채(G, -33.82%), 조협(H, -29.33%) 등의 순서로 높은 ROS 억제 활성을 나타내었고 서목태(C, -10.94%)와 백자인(B, -8.18%)은 상대적으로 낮은 억제 활성을 나타냈다.

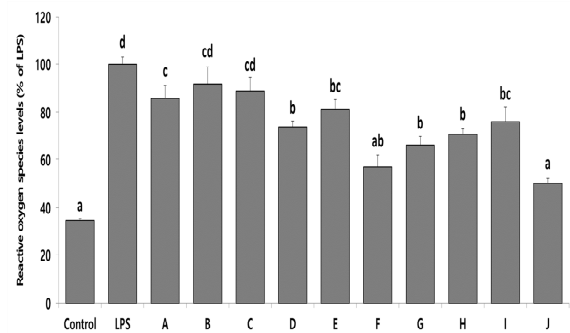


Fig. 5. Inhibitory effects of forest resource extracts on intracellular ROS production in LPS-stimulated RAW264.7 cells. ROS production was measured using DCF-DA staining and flow cytometry. Cells were treated with each extract (100  $\mu\text{g/ml}$ ) and, by stimulation with LPS (1  $\mu\text{g/ml}$ ) for 24 h. Results are expressed as a percentage of mean fluorescence intensity. And represents the mean  $\pm$  SD of triplicate experiments. Statistical significance was determined by one-way ANOVA followed by Tukey's HSD post-hoc test. Groups sharing the same letter are not significantly different, while groups with different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

## 고 찰

본 연구에서는 국내 자생 10종 산림자원을 대상으로 에탄올 추출물을 제조하여 항산화 활성 및 항염증 활성 비교를 수행하였다.

특히 총 폴리페놀 함량(TPC), 총 플라보노이드 함량(TFC), DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능, FRAP 활성, 세포 생존율, 그리고 LPS로 유도된 RAW264.7 세포 내 ROS 생성 억제 효과를 통합적으로 분석함으로써 항산화 효과를 비교 평가하였다.

항산화 활성은 생리활성 소재의 평가에서 중요한 지표로, 활성 산소종(ROS)의 과잉 생성에 따른 산화적 스트레스로부터 생체를 보호하는 역할을 한다<sup>10,11</sup>. 본 연구 결과에 따르면, 해당화, 용아초, 위릉채, 시엽 등은 다양한 지표에서 상대적으로 높은 항산화 활성을 나타내었다. 특히 해당화는 TPC와 FRAP, ABTS, DPPH에서 모두 최상위권에 위치하였고, ROS 생성 억제에서도 가장 높은 활성을 보였다. 이러한 결과는 해당화가 다양한 항산화 성분을 함유하고 있음을 시사하며, 실제로 해당화에는 gallic acid, kaempferol, quercetin 등의 플라보노이드 및 페놀류가 풍부하므로 보고된 바 있다<sup>12-14</sup>.

플라보노이드 및 폴리페놀 화합물은 항산화 효능의 주요 성분군으로 알려져 있으며, 이들은 라디칼 소거, 금속이온 킬레이션, 항염증 작용 등 다양한 경로를 통해 생리활성을 나타낸다<sup>15,16</sup>. 용아초의 경우 TFC가 가장 높은 값을 보여 플라보노이드가 주요 활성 성분일 가능성이 높으며, 이전 연구들을 통해 플라보노이드(quercetin, kaempferol, luteolin, apigenin), 탄닌류(agrimoniin), 그리고 triterpenoid 성분이 다량 함유되어 있고 NF- $\kappa$ B 및 MAPK 신호전달경로의 억제를 통해 염증 매개물질의 생성을 억제한다고 보고되었다<sup>17,18</sup>.

와송과 위릉채 역시 다양한 분석 지표에서 우수한 활성을 보였으며, 이들 자원은 이미 여러 연구에서 항산화 및 항염증 효과가 보고되었다. 와송은 flavonoid와 triterpenoid 함유량이 높으며 암세포 억제, 항산화 및 면역조절 효과가 보고된 바 있다<sup>19</sup>. 위릉채는 중국과 한국 등 동아시아에서 전통적으로 항염증제 및 해열제로 사용되어 왔으며, polyphenolic compound가 풍부하여 강력한 라디칼 소거능을 가지고 있다<sup>20,21</sup>.

시엽은 감나무 잎으로, 총 폴리페놀 및 ABTS 소거능에서 우수한 활성을 보였으며 이는 기존 보고와 일치한다. 감잎에는 tannin, flavonoid, vitamin C가 풍부하여 항산화 뿐 아니라 혈압 조절, 혈당 조절에도 기여하는 것으로 알려져 있다<sup>22,23</sup>.

조협은 전통적으로 피부질환 및 염증성 질환 치료에 활용되어 왔으며, 다양한 saponin과 flavonoid를 함유하고 염증성 사이토카인의 생성을 억제하는 효과가 보고되었다<sup>24</sup>. 또한 본 연구에서도 조협은 높은 ROS 억제 활성이 확인되었다.

한편, 백과는 생약으로서의 활용이 많음에도 불구하고 본 연구에서는 대부분의 지표에서 상대적으로 가장 낮은 활성을 보였다. 이는 추출용매, 용매비, 식물 부위, 수확시기 등에 따라 생리활성 물질 함량이 달라질 수 있음을 시사하며, 본 연구에서는 백과의 종자만을 이용했기에 비교적 낮은 항산화 활성이 관찰되었을 가능성이 있다<sup>25</sup>.

그리고 세포 수준에서의 ROS 생성 억제는 산화적 스트레스로 인한 염증 개선 효능과 직결되는 지표이며, 활성산소는 염증반응을 유도하는 주요 촉매 역할을 한다<sup>26</sup>. 따라서 LPS로 유도된 RAW264.7 세포에서의 ROS 생성 억제는 항염증 활성을 가능하게

중요한 척도라 할 수 있다<sup>26,27</sup>. 본 연구를 통해 해당화, 용아초, 위릉채, 조협 등이 ROS 생성을 유의미하게 억제한 것은 이들 자원이 실제 염증 관련 질환 예방 및 치료 소재로의 활용 가능성을 뒷받침한다.

이러한 결과는 최근 연구와도 부합되는데, 천연 항산화 소재에 대한 관심이 증가함에 따라 다양한 자생 식물들이 항산화 및 항염증 활성을 기반으로 건강기능식품, 화장품, 의약품 소재로 개발되고 있으며<sup>28-31</sup>, 본 연구의 대상인 10종 자원들 또한 그러한 가능성을 보여준다. 특히 해당화, 용아초, 위릉채, 시엽 등은 다중 지표에서 일관되게 우수한 활성을 보여 차세대 기능성 소재로 개발될 가능성이 높다고 판단된다.

본 연구의 제한점으로는 첫째, 각 자원의 주요 활성 성분에 대한 정성·정량 분석이 미흡하다는 점이다. 향후 LC-MS/MS, HPLC 등을 활용한 활성 성분 분석이 필요하며, 둘째, 항산화 및 항염증 활성의 기전을 규명하기 위한 단백질 발현 분석, 사이토카인 정량 등 후속 연구와 in vivo 모델을 통한 유효성 평가가 필요하다고 사료된다.

모든 결과들을 종합해볼 때, 본 연구는 10종의 국내 산림자원을 대상으로 항산화 및 항염증 활성을 비교 분석하였고 해당화, 용아초, 위릉채, 시엽 등을 유망 자원으로 제시하였다. 이들 자원은 기능성 식품, 화장품, 의약품 소재로서의 활용 가능성이 높으며, 천연 항산화 및 항염증 소재로서의 산업적 가치를 높이기 위한 기초 자료를 제공하였다. 본 연구 결과를 바탕으로 후속 연구에 대한 발판을 마련할 수 있고 상기한 본 연구의 제한점이 보완된다면 새로운 기능성 천연물 소재를 발굴하고 이를 통해 관련 기능성식품이 개발될 수 있을 것이라 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 산림청(한국임업진흥원) 산림과학기술 연구개발사업 '(2021370A00-2123-BD02)'의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

## References

1. Reuter S, Gupta SC, Chaturvedi MM, Aggarwal BB. Oxidative stress, inflammation, and cancer: how are they linked? *Free radical biology and medicine*. 2010;49(11):1603-16.
2. Chaudhary P, Janmeda P, Docea AO, Yeskaliyeva B, Abdull Razis AF, Modu B, et al. Oxidative stress, free radicals and antioxidants: Potential crosstalk in the pathophysiology of human diseases. *Frontiers in chemistry*. 2023;11:1158198.
3. Sies H. Oxidative stress: a concept in redox biology and medicine. *Redox biology*. 2015;4:180-3.
4. Mittal M, Siddiqui MR, Tran K, Reddy SP, Malik AB. Reactive oxygen species in inflammation and tissue injury. *Antioxidants & redox signaling*.

- 2014;20(7):1126-67.
5. Kim SC, Kwon HS, Kim CH, Kim HS, Lee CY, Cho SJ. Comparison of antioxidant activities of pileus and stipe from white beech mushrooms (*Hypsizygus marmoreus*). *Journal of Life Science*. 2016;26(8):928-35.
  6. Kim HS, Park MJ, Kim SJ, Kim BK, Park J, Kim D, et al. Antioxidant Effects of *Stewartia koreana* Nakai Leaves and Branch Extracts. *Journal of Life Science*. 2021;31(2):229-36.
  7. Atanasov AG, Waltenberger B, Pferschy-Wenzig E-M, Linder T, Wawrosch C, Uhrin P, et al. Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology advances*. 2015;33(8):1582-614.
  8. Rudrapal M, Khairnar SJ, Khan J, Dukhyil AB, Ansari MA, Alomary MN, et al. Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: Insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism (s) of action. *Frontiers in pharmacology*. 2022;13:806470.
  9. Institute NGL. The National Atlas of Korea II. 2020.
  10. Sies H, Jones DP. Reactive oxygen species (ROS) as pleiotropic physiological signalling agents. *Nature reviews Molecular cell biology*. 2020;21(7):363-83.
  11. Michaeloudes C, Abubakar-Waziri H, Lakhdar R, Raby K, Dixey P, Adcock IM, et al. Molecular mechanisms of oxidative stress in asthma. *Molecular aspects of medicine*. 2022;85:101026.
  12. Xiao Z, Wu H, Wu T, Shi H, Hang B, Aisa H. Kaempferol and quercetin flavonoids from *Rosa rugosa*. *Chemistry of natural compounds*. 2006;42(6).
  13. Cai Y, Abla M, Gao L, Wu J, Yang L. Research on Phenolic Content and Its Antioxidant Activities in Fermented *Rosa rugosa* 'Dianhong' Petals with Brown Sugar. *Antioxidants*. 2024;13(5):607.
  14. Cendrowski A, Ścibisz I, Mitek M, Kieliszek M, Kolniak-Ostek J. Profile of the phenolic compounds of *Rosa rugosa* petals. *Journal of food quality*. 2017;2017(1):7941347.
  15. Zahra M, Abrahamse H, George BP. Flavonoids: Antioxidant powerhouses and their role in nanomedicine. *Antioxidants*. 2024;13(8):922.
  16. Hassanpour SH, Doroudi A. Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants. *Avicenna journal of phytomedicine*. 2023;13(4):354.
  17. Jin T, Chi L, Ma C. *Agrimonia pilosa*: A phytochemical and pharmacological review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2022;2022(1):3742208.
  18. Kim CY, Yu Q-M, Kong H-J, Lee J-Y, Yang K-M, Seo J-S. Antioxidant and anti-inflammatory activities of *Agrimonia pilosa* Ledeb. extract. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2020;2020(1):8571207.
  19. Kim SM, Park JH, Boo HO, Song SG, Park HY. In vitro comparison of biological activities of solvent fraction extracts from *Orostachys japonicus*. *Korean journal of plant resources*. 2017;30(2):133-43.
  20. ŞÖHRETOĞLU D, Zeynep Ü, SABUNCUOĞLU S. Assessment of radical scavenging activities and antiproliferative properties of two cinquefoil (*Potentilla*) species with their phytochemical contents. *Acta Medica*. 2015;46(1):72-8.
  21. Tomovic MT, Cupara SM, Popovic-Milenkovic MT, Ljujic BT, Kostic MJ, Jankovic SM. Antioxidant and anti-inflammatory activity of *Potentilla reptans* L. *Acta Pol Pharm*. 2015;72(1):137-45.
  22. Kazzem M, Sun Y-T, Low M, Seto SW, Chang D, Lee S, et al. Chromatographic analysis and anti-oxidative property of naoxinqing tablet, a proprietary preparation of *diospyros kaki* leaves. *Molecules*. 2019;24(6):1101.
  23. Kwon J, Park J-E, Lee J-S, Lee J-H, Hwang H, Jung S-H, et al. Chemical constituents of the leaves of *Diospyros kaki* (Persimmon). *Plants*. 2021;10(10):2032.
  24. Zhang J-P, Tian X-H, Yang Y-X, Liu Q-X, Wang Q, Chen L-P, et al. *Gleditsia* species: An ethnomedical, phytochemical and pharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*. 2016;178:155-71.
  25. Rimkiene L, Kubiliene A, Zevzikovas A, Kazlauskienė D, Jakstas V. Variation in flavonoid composition and radical-scavenging activity in *Ginkgo biloba* L. due to the growth location and time of harvest. *Journal of Food Quality*. 2017;2017(1):6840397.
  26. Chelombitko M. Role of reactive oxygen species in inflammation: a minireview. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. 2018;73(4):199-202.
  27. Chatterjee S. Oxidative stress, inflammation, and disease. *Oxidative stress and biomaterials*: Elsevier; 2016. p. 35-58.
  28. You Y-L, Byun H-J, Lee J-Y, Cho N-K, Choi C, Youk J-S, et al. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Five Wild Edible Plants. 2025.
  29. Jung YO, Park NB. Analysis of Ingredients and DPPH, ABTS Activity for the Development of Cosmetic Raw Materials using 5 Kinds of Plants Native to Mt. Jiri.-III.

- Journal of Practical Agriculture & Fisheries Research. 2024;26(3):32-44.
30. Kim J, Lee DH, Lee MH, Jung YH, Park CH, Lee HH, et al. Antioxidant activity of Asteraceae plant seed extracts. Journal of Life Science. 2021;31(6):543-9.
31. Gu MK, Song HY, Hong EA, Jung YJ, Jo YJ, Lee J, et al. Antioxidant and Anti-Aging Activity of 20 Medicinal Plant Extracts. 2024.