

울릉도 마가목 추출물의 항산화 효과 연구

이정민 · 김송현 · 최운석 · 변시울 · 이은경 · 이은영 · 박아지 · 박동규

약품화학과

Study on the antioxidant effects of *Sorbus commixta* Hedl. from Ulleung Island

J. M. Lee, S. H. Kim, U. S. Choi, S. Y. Byeon, E. G. Lee, E. Y. Lee, A. J. Park, and D. G. Park

Drug Chemical Division

Abstract

In this study, the antioxidant activity and major bioactive compounds of fruit, twig, and branch extracts from native *Sorbus commixta* Hedl. in Ulleungdo were analyzed, and the effects of extraction solvent and temperature on antioxidant properties were evaluated.

Analysis of the extraction solvents (80% ethanol and distilled water) revealed that neochlorogenic acid and cryptochlorogenic acid were the most abundant in the fruit, whereas chlorogenic acid was the most prevalent in the twig. The 80% ethanol extracts exhibited higher polyphenol content and antioxidant activity than the DW extracts. However, substantial antioxidant activity was also observed in the DW extracts, suggesting that DW-based extraction processes may be economically and practically feasible. Experiments conducted at different extraction temperatures (4°C, 20°C, and 100°C) demonstrated that higher extraction temperatures resulted in increased total polyphenol content and antioxidant activity in twigs and branches, with the 100°C extract showing the highest antioxidant activity. In contrast, fruits retained high levels of neochlorogenic acid and chlorogenic acid even at lower temperatures, indicating that extraction processes that preserve heat-sensitive bioactive compounds should be considered.

In conclusion, *S. commixta* twigs and branches contain abundant antioxidant compounds, and their functional potential can be maximized through 80% ethanol or hot-water extraction. These findings suggest

that *S. commixta* twigs and branches have great potential as underutilized functional materials, and optimizing extraction conditions could enhance their application as high-value natural antioxidants.

Key Words : *Sorbus commixta*, antioxidant activity, chlorogenic acid, neochlorogenic acid, cryptochlorogenic acid, polyphenol, extraction condition

1. 서론

현대인의 생활 수준 향상에 따라 건강 증진에 대한 관심이 증가하고 있으며, 특히 노화 방지 및 항산화 작용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁾. 항산화 물질은 활성산소(reactive oxygen species, ROS)의 생성을 억제하거나 이를 제거하여 세포의 산화 손상을 방지하는 역할을 한다. 활성산소는 반응성이 높은 superoxide anion (O_2^-), hydroxyl radical ($\cdot OH$), hydrogen peroxide (H_2O_2) 등을 포함하며, 신체 대사 과정, 화학적 반응, 과도한 스트레스 등의 다양한 생리적·환경적 요인에 의해 생성된다⁽⁵⁾.

인체는 호흡을 통해 산소를 공급받아 에너지를 생성하는데, 이 과정에서 일부 산소가 활성산소로 전환되면서 체내 세포를 공격하여 산화적 스트레스(oxidative stress)를 유발한다. 이러한 산화적 스트레스는 노화, 염증 반응, 암 등의 다양한 질환 발생을 촉진할 수 있으며, 특히 동맥경화, 심뇌혈관계 질환, 노화 및 발암 과정에서 활성산소가 중요한 역할을 한다는 사실이 밝혀졌다⁽²⁾. 이에 따라, 산화적 손상을 억제할 수 있는 항산화 물질 섭취의 중요성이 강조되고 있다.

항산화제는 크게 천연 항산화제와 합성 항산화제로 구분된다. 합성 항산화제인 BHT (butylated hydroxytoluene) 및 BHA (butylated hydroxyanisole)는 우수한 항산화 효과와 경제성으로 인해 널리 사용되어 왔으나, 장기간 사용 시 인체에 독성을 나타낼 수 있어 안전성에 대한 우려가 제기되었다⁽³⁾. 이에 따라 안전하면서도 효과적인 천연 항산화제에 대한 관심이 증가하고

있으며, polyphenol 및 flavonoid와 같은 식물 유래 항산화 물질이 주목받고 있다^(4, 6).

마가목(*Sorbus commixta* Hedl.)은 장미과(Rosaceae)에 속하는 낙엽활엽수로, 주로 고산 지대에서 자생하는 소고목이다^(7, 8). 전 세계적으로 약 80종이 분포하며, 봄에는 흰색 꽃이 무리지어 피고, 가을에는 선명한 색상의 열매를 맺어 관상용으로도 활용된다. 국내에서는 강원도 남부 산지 및 제주도 등에 분포하며, 특히 경상북도 울릉도 지역에서 자생하는 대표적인 식물이다. 마가목에는 catechin류, chlorogenic acid 및 그 이성체 등의 다양한 생리활성 성분이 함유되어 있으며^(9, 10, 11), 이들 화합물은 항산화 활성을 갖는 것으로 보고되었다. 특히, chlorogenic acid, neochlorogenic acid, cryptochlorogenic acid는 활성산소 중 superoxide anion(O_2^-)을 효과적으로 제거하는 것으로 알려져 있다^(12, 13). 최근 마가목의 활용성을 증대시키기 위한 다양한 연구가 진행되고 있으나, 기존 연구들은 주로 마가목 열매의 생리활성에 초점을 맞추었으며, 가지와 줄기의 항산화 활성 및 기능성 소재로서의 활용 가능성에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 또한 추출 용매 및 온도를 달리하여 항산화 효과를 비교한 연구는 활발히 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 울릉도 자생 마가목의 부위(열매, 가지, 줄기) 및 추출 방법(용매, 온도)에 따른 항산화 효과와 주요 유효성분을 분석하여 항산화 기능성을 지닌 천연 소재로서의 활용 가능성을 검토하고자 한다. 특히, 생육 과정에서 제거되어 폐기되는 가지와 줄기의 항산화 활성을 평가함으로써 이를 고부가가치 자원으로의 재활용 가능성을 제시하고자 한다.

I. 연구사업

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료 및 추출 방법

본 연구에서 사용된 마가목(*Sorbus commixta* Hedl.) 시료는 경상북도 울릉군 농업기술센터로부터 울릉도 자생 마가목의 열매(Fruit), 가지(Twig) 및 줄기(Branch)를 건조한 형태로 제공받았다. 제공된 시료는 각각 균일한 입자로 분쇄한 후, 용매 및 온도 조건을 달리하여 추출물을 제조하였다.

마가목 부위별 시료(20 g)에 대해 에탄올(80% EtOH) 및 증류수(DW)를 용매로 사용하였다. 시료 무게 대비 용매 20배(1:20, w/v)를 가한 후, 70℃에서 6시간 동안 환류냉각 추출을 수행하였다. 추출액은 여과지를 이용하여 여과한 뒤, 감압 농축(evaporation under reduced pressure)을 거쳐 동결건조하였다. 제조된 추출물은 용매의 종류에 따라 에탄올 추출물(80% EtOH) 및 증류수 추출물(DW)로 명명하였다.

마가목 부위별 시료(20 g)에 대해 증류수를 용매로 사용하여 추출 온도를 달리하였다. 시료 무게 대비 증류수 20배(1:20, w/v)를 가한 후 4℃, 20℃, 100℃에서 6시간 동안 추출을 수행하였다. 추출액은 여과지를 이용하여 여과한 뒤 동결건조 과정을 거쳤으며, 제조된 추출물은 저온수 추출물(4℃, DW-L), 중온수 추출물(20℃, DW-M), 고온수 추출물(100℃, DW-H)로 명명하였다.

2.2. 기기 및 시약

본 실험에 사용된 기기는 다음과 같다. 분광광도계는 CARY 100(VARIAN, USA), Micro plate reader는 Epoch2(Biotek, USA), 액체크로마토그래프는 HPLC 1260 infinity(Agilent, USA)를 사용하였다.

본 실험에 사용된 L-ascorbic acid, 2N folin-ciocalteu's reagent, gallic acid, 5-O-(trans-3,4-Dihydroxycinnamoyl)-D-quinic acid(neochlorogenic acid), chlorogenic acid, 4-O-Caffeoylquinic acid(cryptochlorogenic acid), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH)등의 시약과 표준물질은 Sigma-Aldrich co.(St. Louis, Mo, USA)사 제품을 사용하였다. 2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid(ABTS)는 Wako(Japan)사 제품을 사용하였다. 그 외 액체크로마토그래프 분석을 위한 용매는 Fisher Scientific(Hampton, NH, USA)사의 HPLC 등급을 사용하였다.

2.3. 클로로겐산 및 이성체 정량

클로로겐산 및 그의 이성체의 정량 분석은 식품의약품안전처에서 제시한 클로로겐산과 카페인 동시분석법을 변형하여 수행하였다⁽¹⁵⁾.

클로로겐산(chlorogenic acid) 표준용액은 표준물질 25 mg을 정밀하게 취한 후, 메탄올에 완전히 용해하여 25 mL 부피플라스크에 정용하였다. 이후 30% 메탄올을 이용하여 적정 농도로 희석한 뒤 0.2 μ m 멤브레인 필터로 여과하여 분

석에 사용하였다. 네오클로로젠산(neochlorogenic acid) 및 크립토크로로젠산(cryptochlorogenic acid) 표준용액은 표준물질 각각 5 mg/mL 농도로 메탄올에 용해한 후, 적정 농도로 희석한 뒤 동일한 방법으로 0.2 μ m 멤브레인 필터로 여과하여 분석에 활용하였다. 실험에 사용된 시료는 정밀하게 취한 후 30% 메탄올로 희석한 뒤 동일한 방법으로 0.2 μ m 멤브레인 필터로 여과하여 시험용액으로 사용하였다.

클로로젠산 정량 분석은 DAD 검출기(diode array detector)가 장착된 Agilent사의 액체크로마토그래프를 이용하여 수행하였다. 컬럼은 Capcellpak UG120 C18(4.6 mm I.D. $\times$ 250 mm, 5 μ m, OSAKA SODA Co.)이며, 이동상은 0.5% 인산 수용액과 0.5% 인산이 포함된 아세트

니트릴을 사용하였다. 유속(flow rate) 1.0 mL/min, 검출 파장(detection wavelength) 330 nm로 설정하여 실험을 진행하였다(Table 1).

2.4. DPPH 라디칼 소거 활성

DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 라디칼 소거 활성은 Blois의 방법을 변형하여 측정하였다⁽¹⁶⁾. 100 μ g/mL 농도의 시료 0.1 mL에 0.15 mM DPPH 용액 0.1 mL를 혼합한 후, 암실에서 30분간 반응시킨 뒤 518 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH 라디칼 소거능(radical scavenging activity)은 시료 첨가군과 무첨가군 간의 흡광도 차이를 백분율(%)로 환산하여 계산하였다.

Table 1. HPLC conditions for analysis of neochlorogenic acid, chlorogenic acid, and cryptochlorogenic acid

Instrument	Agilent 1260 infinity		
Column	Capcellpak UG120 C18(4.6 mm I.D. $\times$ 250 mm, 5 μ m)		
Column temperature	40 $^{\circ}$ C		
Injection volume	10 μ L		
Flow rate	1.0 mL/min		
Mobile phase	A : 0.5% Phosphoric acid solution		
	B : Acetonitrile containing 0.5% phosphoric acid		
Gradient program	Time(min)	A(%)	B(%)
	0	95	5
	12.5	90	10
	22.5	90	10
	27	70	30
	28	10	90
	30	10	90
	31	95	5
	40	95	5

I. 연구사업

2.5. ABTS 라디칼 소거 활성

ABTS(2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) 라디칼 소거 활성 실험은 Re 등의 방법을 변형하여 측정하였다^(17, 18, 19). 7 mM ABTS 용액과 2.45 mM potassium persulfate 용액을 1:1 (v/v) 비율로 혼합한 후, 암실에서 12~18시간 반응시켜 ABTS 라디칼을 형성하였다. 이후 80% 에탄올로 희석하여 750 nm에서 흡광도가 0.7~1.0이 되도록 조정하여 ABTS working solution을 제조하였다. 제조된 ABTS working solution 0.98 mL에 10 mg/mL 농도의 시료 0.02 mL를 첨가한 후, 30초간 vortex 한 뒤 상온에서 15분간 반응시켰다. 이후 750 nm에서 흡광도를 측정하였으며, ABTS 라디칼 소거 활성은 시료 첨가군과 시료 무첨가군 간의 흡광도 차이를 백분율(%)로 환산하여 계산하였다.

2.6. 총 폴리페놀 함량

총 폴리페놀 함량은 Folin-Denis 방법을 변형하여 측정하였다⁽²⁰⁾. 시료의 색상이 실험 결과에 영향을 미치지 않도록 적절히 희석한 후 실험에 사용하였다. 1 mg/mL 농도의 시료 0.1 mL에 1N Folin-ciocalteu's reagent 0.5 mL를 첨가한 후, 암실에서 3분간 반응시켰다. 이후, 반응액에 10% sodium carbonate 용액 0.4 mL를 첨가한 뒤, 암실에서 1시간 동안 반응시킨 후 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀의 함량은 gallic acid를 표준물질로 사용하여 gallic acid equivalents(GAE)로 나타내었다.

2.7. 통계처리

모든 실험은 3회 반복 수행하였으며, 결과는 평균±표준편차(Mean±SD)로 나타내었다. 통계 분석은 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 일원분산분석(one-way ANOVA)을 수행하였으며, 95% 신뢰구간에서 유의적인 차이를 검정하였다. 유의성이 확인된 경우, Duncan's multiple range test를 적용하여 $p < 0.05$ 수준에서의 유의성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수율 확인

추출 용매 및 온도 조건에 따른 마가목 추출물의 수율을 분석한 결과는 Table 2에 제시하였다. 에탄올과 증류수 간의 수율을 비교한 결과, 열매>가지>줄기 순으로 수율이 높은 것으로 나타났다. 서로 다른 온도의 증류수를 이용하여 추출한 시료의 수율을 비교한 결과 또한 열매>가지>줄기 순으로 수율이 높은 경향을 보였다. 온도에 따른 수율 변화를 비교한 결과, 각 시료별 온도 차이에 따른 수율 변동은 상대적으로 크지 않은 것으로 확인되었다.

3.2. 클로로겐산 및 이성체의 정량

Table 3 및 Table 4는 용매 및 온도를 달리하여 추출한 마가목 열매, 가지, 줄기의 클로로겐산, 네오클로로겐산, 크립토클로로겐산 함량을 분석

Table 2. Extraction yield of fruit, twig, and branch extracts

	(%)		
	Fruit ¹⁾	Twig	Branch
80% EtOH	38.99	11.24	6.90
DW	27.36	8.44	7.47
DW-L	38.55	14.41	6.75
DW-M	38.04	15.35	7.32
DW-H	49.00	18.74	8.43

¹⁾ Sample: *Sorbus commixta* Hedl. 80% EtOH(80% ethanol extract at 70℃); DW(distilled water extract at 70℃); DW-L(distilled water extract at 4℃); DW-M(distilled water extract at 20℃); DW-H(distilled water extract at 100℃).

한 결과를 나타내었다.

Table 3은 에탄올 및 증류수 추출물 간의 함량 비교 결과이다. 네오클로로겐산 함량 분석 결과, 열매는 증류수 추출물(18573.15 mg/kg)이 가장 높은 값을 나타냈으며, 에탄올 추출물(17734.15 mg/kg)도 높은 수준을 보였다. 가지

는 에탄올 추출물(4673.83 mg/kg)이 증류수 추출물(3452.95 mg/kg)보다 유의미하게 높은 값을 보였으며, 줄기는 에탄올 및 증류수 추출물 각각 788.64 mg/kg 및 737.72 mg/kg으로 열매 및 가지에 비해 상대적으로 낮은 네오클로로겐산 함량을 보였다. 클로로겐산 함량 분석 결과, 가지

Table 3. Quantification of neochlorogenic acid, chlorogenic acid, and cryptochlorogenic acid in 80% ethanol and distilled water extracts

	Amount (mg/kg)					
	Fruit ¹⁾		Twig		Branch	
	80% EtOH	DW	80% EtOH	DW	80% EtOH	DW
Neochlorogenic acid	17734.15 ± 327.54 ^b	18573.15 ± 184.53 ^a	4673.83 ± 106.71 ^c	3452.95 ± 108.04 ^d	788.64 ± 76.79 ^e	737.72 ± 54.83 ^e
Chlorogenic acid	4381.64 ± 24.70 ^c	4527.47 ± 46.69 ^b	6687.72 ± 68.17 ^a	4474.67 ± 157.53 ^{bc}	1428.21 ± 26.59 ^d	691.46 ± 35.89 ^e
Cryptochlorogenic acid	2794.67 ± 39.72 ^b	3137.35 ± 45.47 ^a	1866.28 ± 45.16 ^d	2332.95 ± 54.81 ^c	325.62 ± 80.81 ^e	394.81 ± 84.57 ^e

¹⁾ Sample: *Sorbus commixta* Hedl. 80% EtOH(80% ethanol extract at 70℃); DW(distilled water extract at 70℃).

²⁾ Means with the same superscript letters are not significantly different(P < 0.05).

I. 연구사업

에탄올 추출물(6687.72 mg/kg)이 가장 높은 값을 나타냈으며, 이는 가지 증류수 추출물(4474.67 mg/kg)보다 유의미하게 높은 수치를 보였다. 열매는 증류수 추출물(4527.47 mg/kg)이 에탄올 추출물(4381.64 mg/kg)보다 높은 함량을 나타냈다. 반면, 줄기는 에탄올 추출물(1428.21 mg/kg)이 증류수 추출물(691.46 mg/kg)보다 약 2배 높은 클로로젠산 함량을 나타내었다. 크립토클로로젠산 함량 분석 결과, 열매는 증류수 추출물(3137.35 mg/kg)이 가장 높은 값을 나타냈으며, 에탄올 추출물(2794.67 mg/kg)도 비교적 높은 수준을 보였다. 가지는 증류수 추출물(2332.95 mg/kg)이 에탄올 추출물(1866.28 mg/kg)보다 유의미하게 높은 값을 나타냈으며, 줄기에서도 증류수 추출물(394.81 mg/kg), 에탄올 추출물(325.62 mg/kg)순으로

측정되었다. 용매에 따른 크립토클로로젠산 함량을 비교한 결과, 에탄올보다 증류수 추출물에서 유의미하게 높은 함량을 보였다($p < 0.05$). 부위별로 크립토클로로젠산 함량 확인 결과는 열매 > 가지 > 줄기 순으로 높은 경향을 나타냈다. 전반적으로, 네오클로로젠산은 열매, 클로로젠산은 가지, 크립토클로로젠산은 열매에서 가장 높은 함량을 보였다. 특히 크립토클로로젠산은 증류수를 용매로 사용했을 때 상대적으로 높은 함량을 보였다. 이러한 결과를 종합하면, 마가목 열매 및 가지는 항산화 활성이 높은 주요 פע놀 화합물을 다량 함유하고 있으며, 특히 클로로젠산이 풍부한 가지 추출물과 네오클로로젠산이 풍부한 열매 추출물은 기능성 소재로서 활용 가치가 높을 것으로 판단된다. 또한, 줄기의 경우 상대적으로 함량이 낮았으나, 용매 및 온도 조건을 최적화함으로

Table 4. Quantification of neochlorogenic acid, chlorogenic acid, and cryptochlorogenic acid in extracts at 4 °C, 20 °C, and 100 °C.

	Amount (mg/kg)								
	Fruit ¹⁾			Twig			Branch		
	DW-L	DW-M	DW-H	DW-L	DW-M	DW-H	DW-L	DW-M	DW-H
Neochlorogenic acid	18119.17 ±212.71 ^b	18487.17 ±221.20 ^a	12051.52 ±190.13 ^c	3224.03 ±93.61 ^e	3359.77 ±128.07 ^e	4032.11 ±105.13 ^d	522.38 ±106.62 ^g	537.46 ±82.31 ^g	1252.97 ±92.22 ^f
Chlorogenic acid	4168.23 ±30.47 ^a	4313.71 ±46.09 ^a	3750.05 ±34.41 ^b	3181.98 ±196.11 ^d	3428.95 ±231.01 ^c	2955.07 ±51.10 ^e	140.94 ±23.16 ^g	135.41 ±16.96 ^g	666.00 ±22.02 ^f
Cryptochlorogenic acid	2468.26 ±34.23 ^c	2521.82 ±39.90 ^c	6281.05 ±120.30 ^a	1086.13 ±23.72 ^d	1145.22 ±24.73 ^d	3448.71 ±67.24 ^b	157.77 ±74.90 ^f	161.27 ±75.91 ^f	831.71 ±70.88 ^e

¹⁾ Sample: *Sorbus commixta* Hedl. DW-L(distilled water extract at 4 °C); DW-M(distilled water extract at 20 °C); DW-H(distilled water extract at 100 °C).

²⁾ Means with the same superscript letters are not significantly different ($P < 0.05$).

써 유효 성분의 효율적인 추출이 가능할 것으로 기대된다. 따라서, 마가목의 기능성 성분을 보다 효과적으로 활용하기 위해 추출 조건의 최적화 및 생리활성 연구가 추가적으로 진행될 필요가 있다.

Table 4는 증류수 온도를 달리하여 추출한 시료(저온수, 중온수, 고온수)의 클로로젠산 및 이성체 함량을 비교한 결과이다. 네오클로로젠산 함량 분석 결과, 열매 중온수(18487.17 mg/kg) 및 저온수(18119.17 mg/kg)가 가장 높은 값을 나타냈으며, 고온수(12051.52 mg/kg)는 감소하는 경향을 보였다. 반면, 가지는 온도가 증가함에 따라 네오클로로젠산 함량이 증가하는 경향을 나타냈으며, 고온수(4032.11 mg/kg)가 가장 높은 값을 보였다. 줄기 또한 고온수(1252.97 mg/kg)가 가장 높은 함량을 나타냈으며, 이는 저온수 및 중온수 추출물보다 유의미하게 높은 값이었다($p < 0.05$). 클로로젠산 함량 분석 결과, 열매는 중온수(4313.71 mg/kg)가 가장 높은 값을 나타냈으며, 저온수 추출물과 유의미한 차이는 없었다. 가지는 중온수(3428.95 mg/kg)에서 가장 높은 함량을 나타냈으며, 줄기는 고온수(666.00 mg/kg)가 가장 높은 값을 보였다. 크립토크로로젠산 함량 분석 결과, 열매는 고온수(6281.05 mg/kg)가 가장 높은 함량을 나타냈으며, 이는 저온수 및 중온수보다 유의미하게 높은 값을 나타냈다. 가지도 추출 온도가 증가함에 따라 크립토크로로젠산 함량이 증가하는 경향을 보였으며, 고온수(3448.71 mg/kg)가 가장 높은 값을 나타냈다. 줄기 또한 고온수(831.71 mg/kg)가 가장

높은 함량을 나타냈다. 전반적으로, 네오클로로젠산 및 클로로젠산 함량은 열매 > 가지 > 줄기 순으로 높은 경향을 보였으며, 크립토크로로젠산 함량은 열매와 가지에서 상대적으로 높은 수준을 유지하였다. 또한, 추출 온도가 증가함에 따라 가지 및 줄기의 주요 페놀 화합물 함량이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 고온수 추출물이 가장 높은 함량을 보였다.

이러한 결과를 종합하면, 마가목 가지 및 줄기의 주요 페놀 화합물 함량은 높은 추출 온도에서 증가하는 경향을 보이며, 이에 따라 고온수 추출이 기능성 물질을 효과적으로 추출하는 데 유용한 방법이 될 수 있음을 시사한다. 따라서, 추출 온도 및 용매 조건을 최적화하여 마가목 추출물을 항산화 소재 및 기능성 식품 원료로 활용하는 데 있어 유용한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3.3. DPPH 라디칼 소거 활성 확인

추출 용매 및 온도를 달리한 마가목 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성을 분석한 결과는 Fig. 1에 나타났다. (A)와 (B)로 구성되어 있는 각각의 그래프는 아스코르빈산(Ascorbic acid, 비타민 C)을 대조군으로 설정하여 마가목 열매, 가지, 줄기의 DPPH 소거 활성을 비교한 결과를 나타낸다.

Fig. 1(A) 분석 결과, 아스코르빈산 농도가 증가함에 따라 DPPH 라디칼 소거 활성도 증가하는 경향을 보였으며, 12.5 $\mu\text{g/mL}$ 이상의 농도에서 100%에 가까운 항산화 활성이 확인되었다.

I. 연구사업

열매 중 에탄올 추출물의 항산화 활성은 65.55%로, 아스코르빈산 3.125 $\mu\text{g/mL}$ 와 유사한 수준(약 65~70%)을 보였다. 증류수 추출물은 66.32%의 항산화 활성을 나타내어 에탄올보다 높은 활성을 보였다. 가지의 경우, 에탄올이 증류수보다 유의미하게 높은 항산화 활성을 보였으며($p < 0.05$), 줄기에서도 에탄올 및 증류수 추출물 모두 강한 라디칼 소거 활성을 나타냈다. 특히, 줄기의 에탄올 추출물은 95.48%의 높은 항산화 활성을 나타내었으며, 전체적으로 줄기 > 가지 > 열매 순으로 DPPH 라디칼 소거 활성이 높은 경향을 보였다.

Fig. 1(B) 분석 결과, 추출 온도가 증가할수록 추출물의 항산화 활성이 증가하는 경향이 확인되었다. 열매는 저온수 및 중온수의 항산화 활성이 각각 64.95%, 65.64%로, 이는 아스코르빈산 3.125 $\mu\text{g/mL}$ 와 유사한 활성을 보였다. 반면, 고온수는 가장 높은 항산화 활성을 나타냈다. 가지는 고온수가 88.98%의 높은 항산화 활성을 나타냈으며, 이는 저온수 및 중온수보다 유의미하게 높은 값이었다($p < 0.05$). 줄기도 고온수가 90.59%로 가장 높은 활성을 나타냈다.

전반적으로 마가목 가지 및 줄기의 에탄올 추출물과 고온수 추출물이 강력한 항산화 활성을

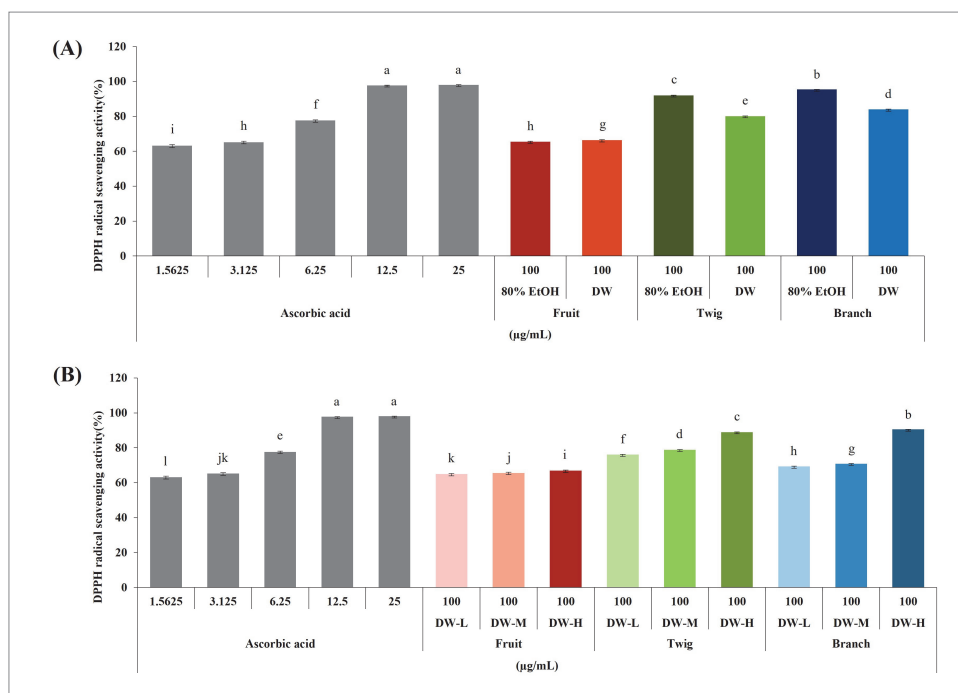


Fig. 1. DPPH radical scavenging activity of *Sorbus commixta* Hedl. extracts. Means followed by same letter with above the bars are not significantly different ($P < 0.05$). ¹⁾ Sample: 80% EtOH(80% ethanol extract at 70°C); DW(distilled water extract at 70°C); DW-L(distilled water extract at 4°C); DW-M(distilled water extract at 20°C); DW-H(distilled water extract at 100°C).

나타냈으므로 항산화제 소재로서 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다.

3.4. ABTS 라디칼 소거 활성 확인

추출 용매 및 온도를 달리한 마가목 추출물의 ABTS 라디칼 소거 활성을 분석한 결과는 Fig. 2에 나타냈다. 본 실험에서는 아스코르빈산을 대조군으로 설정하여 열매, 가지, 줄기의 ABTS 라디칼 소거 활성을 비교하였다.

Fig. 2(A) 분석 결과, 아스코르빈산 농도가 증

가함에 따라 ABTS 라디칼 소거 활성이 점진적으로 증가하는 경향을 보였으며, 500 $\mu\text{g/mL}$ 이상의 농도에서 100%에 가까운 활성을 나타내었다. 열매의 경우, 에탄올이 증류수보다 높은 ABTS 라디칼 소거 활성을 보였다. 가지의 경우 에탄올 및 증류수 모두 90% 이상의 높은 ABTS 라디칼 소거 활성을 나타냈으며, 줄기에서도 두 가지 추출물 모두 강한 항산화 활성을 보였다. 전반적으로 줄기 > 가지 > 열매 순으로 ABTS 라디칼 소거 활성이 높은 경향을 보였다.

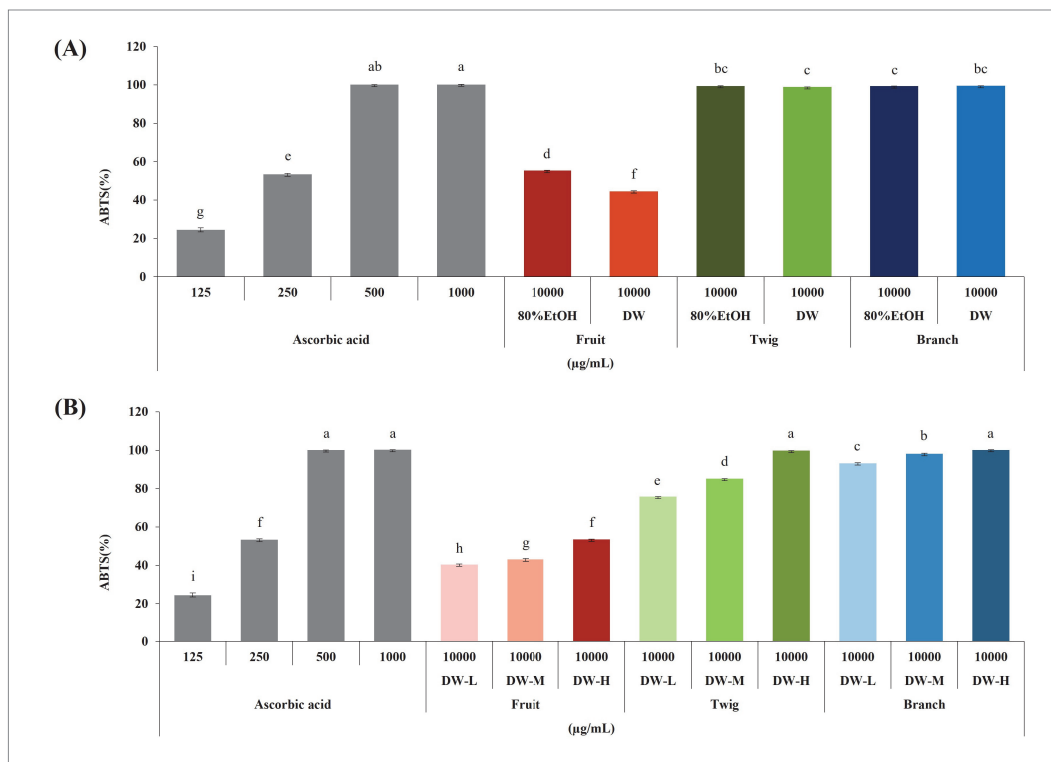


Fig. 2. ABTS radical scavenging activity of *Sorbus commixta* Hedl. extracts. Means followed by same letter with above the bars are not significantly different ($P < 0.05$).

¹⁾ Sample: 80% EtOH(80% ethanol extract at 70°C); DW(distilled water extract at 70°C); DW-L(distilled water extract at 4°C); DW-M(distilled water extract at 20°C); DW-H(distilled water extract at 100°C).

I. 연구사업

Fig. 2(B) 분석 결과, 열매에서는 저온수 및 중온수보다 고온수에서 가장 높은 항산화 활성을 나타냈다. 가지는 고온수 99.77%의 항산화 활성을 보였으며, 이는 중온수 및 저온수보다 유의미하게 높은 값이었다. 줄기도 고온수 95% 이상의 ABTS 라디칼 소거 활성을 보였으며, 이는 아스코르빈산 500~1000 $\mu\text{g/mL}$ 농도에서 나타난 항산화 활성과 유사한 수준이었다.

전반적으로 에탄올이 증류수보다 높은 ABTS 라디칼 소거 활성을 보였으나, 가지 및 줄기에서는 두 용매 모두 높은 항산화 활성이 확인되었다. 또한, 경제적 측면을 고려할 때, 증류수를 이용한 고온수 추출물이 가장 높은 ABTS 라디칼 소거 활성을 유도하는 것으로 확인되었다. 따라서, 마가목 가지 및 줄기는 에탄올 및 증류수 모두에서 강한 항산화 활성을 보였으며, 천연 항산화 소재로서의 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다. 추가적으로, 가지는 줄기와 열매 사이에 위치한 식물학적 특성으로 인해 항산화 물질의 이동 경로 역할을 할 가능성이 있으며, 이에 따라 높은 항산화 활성을 나타낼 수 있는 것으로 사료된다.

3.5. 총 폴리페놀 함량 확인

추출 용매 및 온도를 달리한 마가목 추출물의 총 폴리페놀 함량 분석 결과는 Fig. 3에 제시하였다.

Fig. 3(A) 분석 결과, 열매는 에탄올 및 증류수 추출물 모두 비교적 낮은 총 폴리페놀 함량을 나타냈으며, 두 추출물 간 유의미한 차이는 확인되지 않았다. 가지는 에탄올 및 증류수 간 총 폴리페놀 함량에 유의미한 차이가 없었으며, 줄기는

에탄올이 94.70 GAE $\mu\text{g/mL}$ 로 가장 높은 총 폴리페놀 함량을 나타냈다. 또한, 가지 및 줄기는 열매와 비교하여 최소 10배 이상의 총 폴리페놀 함량을 보였으며, 에탄올이 증류수보다 높은 값을 나타냈다. 이는 유기용매가 폴리페놀 화합물 추출에 효과적임을 시사하나, 증류수에서도 상당한 수준의 폴리페놀 함량이 확인되었으므로 경제적 측면에서 증류수 추출 방법 또한 실용성이 높을 것으로 판단된다.

Fig. 3(B) 분석 결과, 열매는 모든 추출 온도 조건에서 총 폴리페놀 함량이 비교적 낮게 나타났으며, 추출 온도에 따른 유의미한 차이는 확인되지 않았다. 가지는 추출 온도가 증가함에 따라 총 폴리페놀 화합물 함량이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 고온수에서 67.61 GAE $\mu\text{g/mL}$ 로 가장 높은 값을 나타냈다($p < 0.05$). 줄기도 추출 온도가 증가할수록 총 폴리페놀 함량이 증가하는 경향을 보였으며, 고온수에서 57.60 GAE $\mu\text{g/mL}$ 로, 저온수 및 중온수보다 유의미하게 높은 값을 나타냈다. 전반적으로 가지 > 줄기 > 열매 순으로 총 폴리페놀 함량이 높은 경향을 보였으며, 열매에 비해 가지 및 줄기에서 상대적으로 높은 폴리페놀 함량이 확인되었다. 또한, 에탄올이 증류수보다 총 폴리페놀 함량이 높았으며, 고온수 또한 상당히 높은 폴리페놀 함량을 보였다.

결과적으로, 가지는 사용한 용매에 관계없이 높은 총 폴리페놀 함량을 보였으나, 추출 온도에 영향을 받는 경향을 나타냈다. 줄기의 경우, 에탄올 및 고온수 추출 방법이 폴리페놀 화합물의 효율적인 추출이 가능한 것으로 확인되었으며, 이를 기반으로 항산화 소재로의 활용 가능성이 높을 것으로 사료된다.

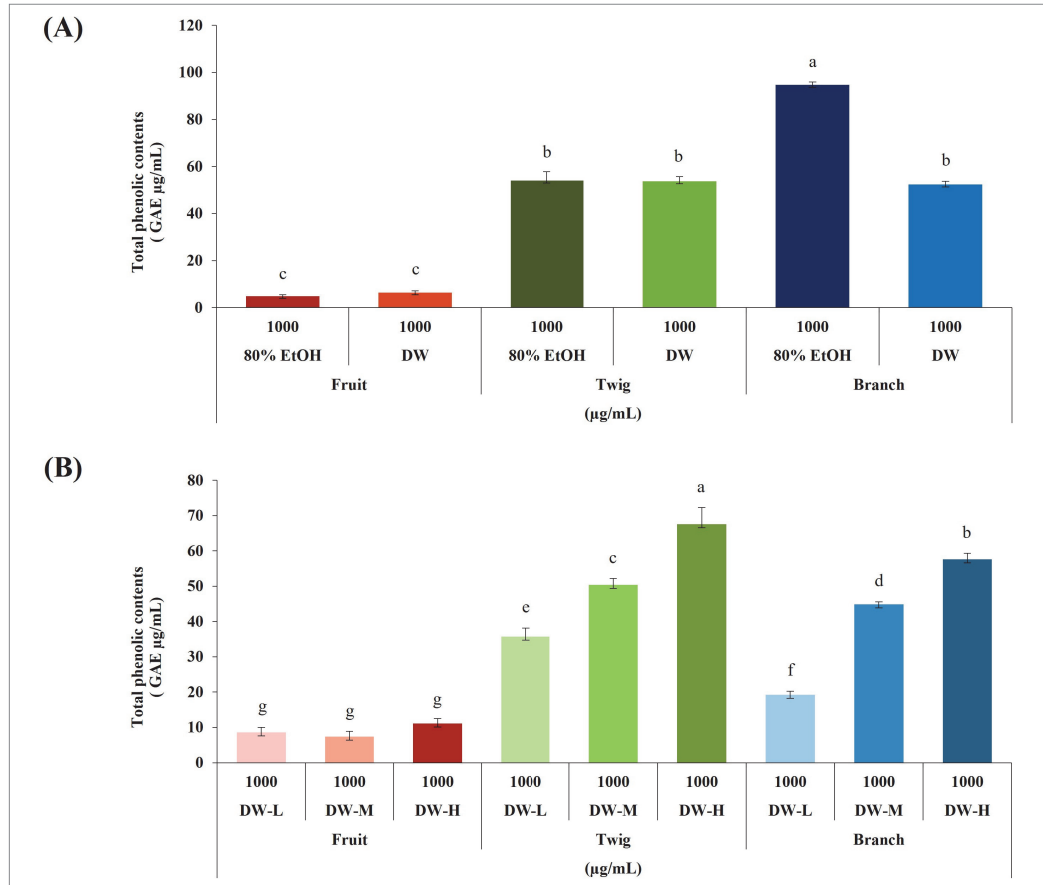


Fig. 3. Total phenolic contents of *Sorbus commixta* Hedl. extracts. Means followed by same letter with above the bars are not significantly different ($P < 0.05$). ¹⁾ Sample: 80% EtOH(80% ethanol extract at 70°C); DW(distilled water extract at 70°C); DW-L(distilled water extract at 4°C); DW-M(distilled water extract at 20°C); DW-H(distilled water extract at 100°C).

4. 결 론

본 연구에서는 울릉도 자생 마가목 (*Sorbus commixta* Hedl.)의 열매, 가지, 줄기 추출물에 대한 항산화 활성 및 주요 생리 활성 성분을 분석하고, 추출 용매 및 온도에 따른 항산화 특성의 변화를 평가하였다.

추출 용매에 따른 분석 결과, 네오클로로겐산 및 크립토클로로겐산은 열매에서, 클로로겐산은 가지에서 가장 높은 함량을 나타냈으며, 에탄올 추출할 경우 증류수보다 높은 폴리페놀 함량 및 항산화 활성을 보였다. 그러나, 증류수를 이용한 추출에서도 상당한 수준의 항산화 활성이 확인되었으며, 경제적 및 실용적 측면에서 증류수 기반

I. 연구사업

추출 공정이 유용할 가능성이 제시되었다.

추출 온도를 달리한 실험에서는 온도가 증가함에 따라 가지 및 줄기의 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성이 증가하는 경향을 나타냈으며, 특히 고온수에서 가장 높은 항산화 활성을 보였다. 이러한 결과는 고온수 추출이 가지 및 줄기의 기능성 성분을 효과적으로 추출하는 데 적합한 방법임을 시사한다. 반면, 열매의 경우 상대적으로 낮은 온도에서도 높은 네오클로로젠산 및 클로로젠산 함량을 유지하였으므로, 열에 민감한 생리활성 성분의 보존을 고려한 추출 공정의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성 분석 결과, 에탄올 및 고온수 추출물이 가장 높은 항산화 활성을 나타냈으며, 특히 가지 및 줄기의 강력한 항산화 활성이 확인되었다. 또한, 총 폴리페놀 함량 분석에서도 가지 및 줄기 추출물이 열매보다 유의미하게 높은 값을 나타냈으며, 추출 온도가 증가할수록 총 폴리페놀 함량이 증가하는 경향을 보였다.

이러한 연구 결과를 종합하면, 마가목 가지 및 줄기는 풍부한 항산화 성분을 함유하고 있으며, 에탄올 또는 고온수 추출을 통해 기능성 소재로의 활용 가능성을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 가지는 줄기와 열매 사이에서 항산화 물질의 이동 경로 역할을 할 가능성이 있으며, 이에 따라 높은 항산화 활성을 나타낼 수 있음이 시사되었다. 따라서, 마가목의 가지 및 줄기는 기존에 주목받지 않았던 기능성 소재로서의 가치를 지니며, 추출 조건의 최적화를 통해 고부가가치

천연 항산화제 및 기능성 식품 원료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 경상북도 울릉군 농업기술센터로부터 실험재료인 마가목을 지원받아 수행하였습니다.

참 고 문 헌

1. Seo, Y. J., Jung B.O. Chung, S. J. Antioxidant Activity of Extracts from Different Parts of *Sorbus commixta* Hedl. with Water-Soluble Chitosan. Journal of Chitin and Chitosan, 22(1), 33-40(2017).
2. Kim, M. S., Kim, K. H., & Yook, H. S. Antioxidative and physiological activities of fractions from *Pleurospermum kamtschaticum* extracts. Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition, 41(10), 1338-1345(2012).
3. Kim, H. K., Kim, Y. E., Do, J. R., Lee, Y. C., and Lee, B. Y. Antioxidative activity and physiological activity of some Korean medicinal plants. Korean J. Food Sci. Technol. 27, 80-85(1995).
4. Jung, S. J., Lee, J. H., Song, H. N., Seong, N. S., Lee, S. E., and Back, N. I.. Screening for antioxidant activity of plant medicinal extracts. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem., 47, 135-140 (2004).
5. Choi, L. I., Lee, Y. M., & Heo, T. R. Screening of

- hyaluronidase inhibitory and free radical scavenging activity in vitro of traditional herbal medicine extracts. Korean Journal of Biotechnology and Bioengineering, 18(4) (2003).
6. Song, H. S., Park, Y. H., Jung, S. H., Kim, D. P., Jung, Y. H., Lee, M. K., & Moon, K. Y. Antioxidant Activity of Extracts from Smilax china Root. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 35(9), 1133-1138(2006).
7. Kim, T. H. . Chlorogenic acid isomers from *Sorbus commixta* of ulleung island origin and their inhibitory effects against advanced glycation end product (AGE) formation and radical scavenging activity. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 45(8), 1208-1213(2016).
8. Park, Y. M., Park, S. H., Cha, M. Y., Kang, H. C., & Park, S. N. Comparison of Antioxidant and Matrix Metalloproteinases Inhibitory Effects of *Sorbus commixta* Twig Extracts before and after Fermentation with *Lactobacillus pentosus*. Applied Chemistry for Engineering, 28(6), 696-704 (2017).
9. Herrmann, K., & Nagel, C. W. Occurrence and content of hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acid compounds in foods. Critical reviews in food science & nutrition, 28(4), 315-347(1989).
10. Hu, Y. J., Chen, C. H., Zhou, S., Bai, A. M., & Ou-Yang, Y. The specific binding of chlorogenic acid to human serum albumin. Molecular biology reports, 39, 2781-2787(2012).
11. Kim, K. M., Kim, T. H., & Jang, W. G. . Effect of cryptochlorogenic acid extracted from fruits of *sorbus commixta* on osteoblast differentiation. Journal of The Korean Society of Food Science and Nutrition, 46(3), 314-319(2017).
12. Nakatani N, Kayano S, Kikuzaki H, Sumino K, Katagiri K, Mitani T. Identification, quantitative determination, and antioxidative activities of chlorogenic acid isomers in prune (*Prunus domestica* L.). J Agric Food Chem 48: 5512-5516(2000).
13. Mullen W, Nemzer B, Ou B, Stalmach A, Hunter J, Clifford MN, Combet E. 2011. The antioxidant and chlorogenic acid profiles of whole coffee fruits are influenced by the ex- traction procedures. J Agric Food Chem 59: 3754-3762.
14. Lim, G. N., Park, M. A., & Park, S. N. Antioxidative and antiaging effects of *Sorbus commixta* twig extracts. Journal of the Korean Applied Science and Technology, 28(4), 482-490(2011).
15. Jeong H. S., Lee S. Y., Kim K. H. , Lee M. Y., Choi J. H., Ahn J. S., Oh J. M., Kwon K. I., Lee H. Y. Optimization and Applicability Verification of Simultaneous Chlorogenic acid and Caffeine Analysis in Health Functional Foods using HPLC-UVD. Journal of Food Hygiene and Safety, 39(2), 61-71(2024).
16. Blois, M. S. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. nature, 181(4617), 1199-1200(1958).

I . 연구사업

17. R. Re et al. ANTIOXIDANT ACTIVITY APPLYING AN IMPROVED ABTS RADICAL CATION DECOLORIZATION ASSAY. Free Radical Biology & Medicine 26, 1231-1237 (1999).
18. Rhim. In vitro Antioxidant Activity of Sanguisorbae Radix Ethanol Extracts. Korean J. Plant Res. 2: 149:158(2013).
19. Hwang SJ et al. Component Analysis and Antioxidant Activity of Oenanthe javanica Extracts. KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL 45, 227-234(2013).
20. Folin, O., & Denis, W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. Journal of Biological Chemistry, 12(2), 239-243 (1912).
21. Yun, Y. G., Chai, K. Y., Lee, K. K., Bhatt, L. R., & Baek, S. H. Studies on the Antiinflammatory compounds from *Sorbus commixta*. Yakhak Hoeji, 53(6), 351-356 (2009).
22. Lee, M. K., Lee, H. Y., Lee, J. H., Oh, J. S., Choi, G. P., Kim, J. H., & Kim, J. D. Anticancer effect of *Sorbus commixta* Hedl extracts. Korean Journal of Medicinal Crop Science, 10(5), 403-408(2002).
23. Chung, B. H., Lee, H. Y., Lee, J. H., Kim, N. Y., Lee, S. Y., Choi, J. T., ... & Kim, J. D. Effect of fruit extracts from *Sorbus commixta* Hedl. on the lipid metabolism in rats. Korean Journal of Medicinal Crop Science, 11(2), 143-147(2003).
24. Kim, T. H., You, J. K., Kim, J. M., Baek, J. M., Kim, H. S., Park, J. H., & Choe, M. Antioxidant and whitening effects of *Sorbus commixta* HEDL cortex extract. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition, 39(10), 1418-1424 (2010).
25. Moon, S. C., Choi, H. J., Chung, T. W., Lee, J. H., Lee, S. O., Jung, M. H., ... & Ha, K. T. *Sorbus commixta* water extract induces apoptotic cell death via a ROS-dependent pathway. Oncology Letters, 16(4), 4193-4200(2018).
26. Kim, M. S., Seong, H. J., & Sohn, H. Y. In-vitro antithrombosis activity of different parts of *Sorbus commixta* from Ulleung island. Journal of Life Science, 26(3), 289-295(2016).
27. Kim, J. H., Kim, J. M., Bae, D. H., & Heo, H. J. Protective effect of *Sorbus commixta* bark on amyloid beta ($A\beta$)-induced learning and memory dysfunction in rat. Food Science and Preservation, 29(2), 339-351(2022).
28. Kim, S. H., Jang, Y. S., Chung, H. G., & Choi, Y. C. Meteorological elements and vegetative structure for *Sorbus commixta* Hedl. Natural Populations at Ulleung Island. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 5(3)(2003).