KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 53, No. 2, pp. 133~138 (2021)
https://doi.org/10.9721/KJFST.2021.53.2.133

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

아로니아 잎의 성숙도에 따른 항산화 물질 조성 및 항산화 능력

양해조[1] · 박현정[1] · 윤형열[1] · 김영준[2] · 신영재[3,*]
[1]단국대학교 환경원예학과, [2]서울과학기술대학교 식품공학과, [3]단국대학교 식품공학과

Antioxidant composition and activity of aronia leaves at different stages of maturity

Haejo Yang[1], Hyunjeong Park[1], Hyeongyeol Yun[1], Young-Jun Kim[2], and Youngjae Shin[3,*]
[1]*Department of Environmental Horticulture, Dankook University*
[2]*Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology*
[3]*Department of Food Engineering, Dankook University*

Abstract In this study, the leaves of aronia (*Aronia melanocarpa*) across different stages of maturity were collected and their chlorophyll content, antioxidant content, and activity were analyzed. The leaves of the selected aronia cultivars ('Viking', 'McKenzie', and 'Kingstar K1') were harvested in June (young-stage leaf) and in August (old-stage leaf). The antioxidant content and activity of all three aronia cultivar leaves were significantly higher in the young-stage leaves than in the old-stage leaves. The main polyphenols in aronia leaves were catechol and chlorogenic acid, which tended to decrease as maturation progressed. As a result, the young-stage aronia leaves contained more abundant flavonoids, phenolic compounds, and polyphenols with higher antioxidant activity than those in the old-stage leaves. Overall, our findings indicate that aronia leaves contain potential bioactive compounds that could be used to develop functional food ingredients.

Keywords: aronia leaf, flavonoid, polyphenol, antioxidant activity, harvest maturity

서 론

많은 식물의 잎은 차로 음용하기도 하며, 항암, 항염증 및 항균 작용에 관여하는 폴리페놀, 플라보노이드 및 엽록소에서 비롯된 다양한 물질들이 다량 함유되어 있다(Gawron-Gzella 등, 2012). 식물의 종에 따라 각기 다른 부위는 계절적으로 달리 이용할 수 있을 뿐만 아니라 항산화 물질과 같은 파이토케미컬(phytochemical)을 생성하고 저장하는 중요한 요소이다. 식물은 부위별로 페놀화합물 또는 다른 유형의 항산화 물질을 달리 축적하는 이점이 있다. 항산화 물질의 원천은 채소, 과일, 잎, 종자, 껍질, 뿌리 등과 같은 몇 가지 유형의 식물 재료에서 발견되었으며, 플라보노이드(flavonoid), 페놀산(phenolic acid), 탄닌(tannin) 등과 같은 페놀화합물은 식물의 잎, 꽃의 조직과 나무 껍질과 같은 부위에 풍부하게 존재한다고 알려져 있다(Chanwitheesuk 등, 2005). 블루베리 잎과 과실의 항산화 능력을 비교한 연구 결과에 의하면 잎이 과실보다 항산화 능력이 유의하게 높았으며, 블루베리 잎의 총 페놀 함량은 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) 라디컬 소거능 및 FRAP 능력과 강한 상관관계가 있다고 보고하였다(Ehlenfeldt와 Prior, 2001; Routray와 Orsat, 2014; Teleszko와 Wojdyło, 2015). 아로니아 잎은 아로니아 과실을 수확한 후, 다량 얻을 수 있는 풍부한 원료이며, 다양한 응용성을 갖는 생리 활성 화합물을 함유하고 있는 것으로 알려져 있다(Thi와 Hwang, 2014). Lee 등(2014)과 Thi와 Hwang (2014)의 연구에 의하면, 아로니아 잎의 항산화 물질 함량과 항산화 능력 모두 유엽이 성엽보다 높았고, 페놀화합물 함량과 항산화 능력 간에 강한 상관관계가 있다고 보고하였다. 또한, 아로니아 잎의 주요 폴리페놀은 퀘르세틴(quercetin), 루틴(rutin) 및 클로로겐산(chlorogenic acid) 이라는 연구 결과도 보고된 바 있다(Pirvu 등, 2014). 이처럼, 아로니아 잎의 다양하고 광범위한 효과를 갖고 있는 생리활성물질 탐색에 대한 연구는 매우 활발히 이루어졌지만, 좀 더 나아가 품종, 부위, 성숙도에 따른 항산화 능력에 대한 연구는 비교적 부족한 실정이다. 따라서, 본 연구는 국내에서 재배중인 *A. melanocarpa* 의 대표적인 품종 'Viking', 'Mckenzie', 'Kingstar K1'을 선정하여 잎의 성숙도에 따른 이화학적 특성 변화, 항산화 물질 조성 및 항산화 능력 변화 등을 분석하여 아로니아 잎을 다양한 원료로 이용할 수 있는 활용 다양성에 대한 기초 자료로 제공하기 위해 수행하였다.

*Corresponding author: Youngjae Shin, Department of Food Engineering, Dankook University, Cheonan, Chungnam 31116, Korea
Tel: +82-41-550-3562
Fax: +82-41-559-7868
E-mail: ys234@dankook.ac.kr
Received September 24, 2020; revised November 13, 2020; accepted November 13, 2020

재료 및 방법

실험 재료

본 연구의 공시 재료는 충청북도 청주시에 위치한 농가에서 재배한 *A. melanocarpa* 계통의 'Viking', 'Mckenzie', 'Kingstar K1' 품종의 잎을 성숙도에 따라 수확하여 이화학적 특성 변화, 항산화 물질 조성 변화 및 항산화 능력을 비교 분석하였다. 3품종의 잎은 동일한 포장의 균일한 토양에서 재배한 약 3년생의 나무에서 수확하였으며, 각각 유엽(young)과 노엽(old) 총 2단계로 분류하여 수확하였다. Young 단계는 2017년 6월 중순, old 단계는

2017년 8월 중순에 수확하였다. 수확한 아로니아 잎은 즉시 실험실로 이동하여 상처 난 잎을 제거한 후, 5-7 cm 수준의 크기로 선별을 실시하였다. 선별 후, 일부는 엽록소 측정에 사용하였으며, 나머지는 −196°C의 액체질소로 급속동결 시킨 후, −20°C의 냉동실에 보관하면서 항산화 물질, 항산화 능력 분석을 위한 추출에 사용하였다.

항산화 물질, 항산화 능력 분석 시약

본 실험에 사용된 에탄올, Folin-Ciocalteu 페놀 시약(2N), ascorbic acid (AA), DPPH, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)(ABTS), 아질산-나트륨(sodium nitrite), 염화-알루미늄(aluminum chloride), (+)-카테킨(catechin), 갈산(gallic acid), 염화-칼륨(potassium chloride), 소듐-아세테이트(sodium acetate), 염산(hydrochloric acid), 탄산-나트륨(sodium carbonate), 인산완충식염수(PBS, phosphate buffer saline)은 Sigma-Aldrich사(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다

엽록소 함량 측정

잎의 엽록소 측정은 Markwell 등(1995)의 방법을 이용하여 엽록소측정기(SPAD-502, Konica Minolta Optics, Inc., Osaka, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 각 시료당 10회 반복 측정하여 엽록소 양을 SPAD 평균값으로 표기하였다.

항산화 물질, 항산화 능력 분석을 위한 추출

80% 에탄올 용매를 이용한 잎의 추출은 냉동 보관한 시료 일정량을 막자 사발에 담아 적당량의 액체질소를 가하여 분말화한 후, 80% 에탄올을 가하여 블렌더(HR-2171, Phillips, Seoul, Korea)로 3분씩 3회 균일하게 혼합하였다. 혼합액 적당량은 균일한 여과를 위해 원심분리용 튜브에 담아 원심분리기(Mega 21R, Hanil, Incheon, Korea)로 5230×*g*에서 20분간 원심분리 하였다. 원심분리가 끝난 혼합액은 상층액을 적당량 취해 감압 여과장치에서 Whatman #2 여과지(Whatman International Ltd., Kent, England)를 사용하여 여과시킨 후, 감압식 회전농축기(N-1000, Eyela, Tokyo, Japan)를 이용하여 용매를 완전히 제거 시키면서 농축 시켰다. 농축시킨 추출액은 −20°C에 냉동 보관하면서 항산화 물질 함량 분석과 항산화 능력 분석에 사용하였다.

총 플라보노이드 함량 분석

잎 추출물의 총 플라보노이드 함량은 비색법(colorimetric assay method)에 따라 측정하였다(Meyers 등, 2003; Shin, 2012). 3차 증류수를 혼합한 희석액 1 mL에 5% $NaNO_2$을 0.3 mL 넣고 균일하게 혼합하고 5분간 정치하여 1차로 반응시켰다. 1차 반응이 끝난 혼합액은 다시 10% $AlCl_3$을 0.3 mL 넣고 균일하게 혼합하여 6분간 정치 후 반응시켰다. 최종적으로 1N NaOH를 2 mL 넣고 증류수를 2.4 mL 더하여 총량을 10 mL로 맞춰준 후, 분광광도계(Optizen POP, Mecasys, Daejeon, Korea)를 이용하여 510 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선은 catechin을 표준 물질로 사용하여 50, 100, 150, 200, 250 mg/L 농도 별로 제조하여 작성하였고, 총 플라보노이드 함량의 단위는 mg catechin equivalents (CE)/100 g fresh weight (FW)로 환산하여 표기하였다.

총 페놀화합물 함량 분석

잎 추출물의 총 페놀화합물 함량은 Folin-Ciocalteu 비색법(Folin-Ciocalteu colorimetric method)에 따라 측정하였다(Meyers 등, 2003; Shin, 2012). 3차 증류수를 혼합한 희석액 0.2 mL에 Folin-Ciocalteu 시약을 0.2 mL 첨가한 후, 균일하게 혼합하여 실온에서 6분간 정치하여 1차로 반응시켰다. 1차 반응이 끝난 혼합액에 7% $NaCO_3$를 2 mL 첨가하고 상온 암소 상태로 90분간 정치하여 2차 반응시킨 후, 분광광도계를 이용하여 750 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선은 gallic acid를 표준 물질로 사용하여 50, 100, 150, 200, 250 mg/L 농도 별로 제조하여 작성하였고, 총 페놀화합물 함량의 단위는 mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g FW로 환산하여 표기하였다.

폴리페놀 함량 분석

잎 추출물의 폴리페놀 함량 분석은 Chen 등(2001)의 방법에 따라 분석하였다. 시료의 추출물은 희석용액(KH_2PO_4:MeOH:D.W.=2:3:15)을 이용하여 20배 희석하였고, 희석액은 0.45 μm 시린지 필터로 여과하였다. 여과한 샘플은 HPLC (Thermo Fisher UltiMate 3000, Thermo Scientific, Bremen, Germany)를 사용하여 분석하였고, Eclipse XDB C-18 column (150×4.6 mm, 5 μm, Agilent, Santa Clara, CA, USA)은 40°C에서 수행하였다. HPLC 이동상은 3% acetic acid (acetic acid:D.W.=30:970)를 사용하였고, 검출기는 1.0 mL/min의 유속에서 280 nm 파장으로 설정하였다. 분석용 샘플은 10 μL를 주입하여 분석하였다. 표준검량곡선은 gallic acid, protocatechuic acid, catechol, catechin, chlorogenic acid, epigallocatechin gallate, caffeic acid, epicatechin, syringic acid, 4-methycatechol, epicatechin gallate, p-coumaric acid, ferulic acid, rutin을 표준 물질로 사용하여 0.25, 1, 2.5, 5 mg/100 g 농도 별로 제조하여 작성하였고, 분석 결과 함량의 단위는 mg/100 g FW로 표기하였다.

DPPH 라디컬 소거능 검정

잎 추출물의 DPPH 라디컬 소거능을 이용한 항산화 능력 검정은 DPPH 분석 방법에 따라 측정하였다(Brand-Williams 등, 1995; Shin, 2012). 3차 증류수를 혼합한 희석액 50 μL와 0.2 mM DPPH solution 2.95 mL를 혼합한 시험 용액은 상온암소상태에서 30분간 반응시킨 후, 분광광도계(Optizen POP)를 이용하여 517 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선은 vitamin C를 표준 물질로 사용하여 50, 100, 150, 200 mg/L 농도 별로 제조하였고, 추출물의 항산화 능력 측정값은 mg vitamin C equivalents (VCE)/100 g FW로 환산하여 표기하였다.

ABTS 라디컬 소거능 검정

잎 추출물의 ABTS 라디컬 소거능을 이용한 항산화 능력 검정은 ABTS 분석 방법에 따라 측정하였다(Floegel 등, 2011; Re 등 1999). 3차 증류수를 혼합한 희석액 20 μL와 ABTS 반응 용액 980 μL를 혼합한 시험 용액은 37°C에서 10분간 반응시킨 후, 분광광도계를 이용해 734 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다. 표준검량곡선은 vitamin C를 표준 물질로 사용하여 50, 100, 150, 200 mg/L 농도 별로 제조하였고, 추출물의 항산화 능력 측정값은 mg VCE/100 g FW로 환산하여 표기하였다.

통계 처리

각 실험의 통계처리는 SAS 9.3통계 프로그램(SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA)과 SPSS 20 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였고, 각 데이터 평균값의 유의성 검정은 Duncan의 다중범위검정법 (Duncan's multiple range test)을 사용하였다($p<0.05$). 각 요인 별 평균값의 상관관계는 Pearson의 적률상관계수(Pearson's correlation coefficient)

를 이용하여 표기하였다.

결과 및 고찰

엽록소 함량

아로니아 잎의 엽록소 함량은 SPAD 값으로 나타내었다. SPAD meter 기를 이용한 간이 측정법은 신속하고 합리적인 결과값을 제공한다는 연구 결과에 기반하여 본 연구에서도 SPAD meter 를 이용하여 수확시기별 아로니아 잎의 엽록소 함량 변화 경향을 조사하였다(Markwell 등, 1995). 수확시기 별 아로니아 잎의 엽록소 함량은 Table 1과 같다. Young 단계의 SPAD 값은 'Viking' 품종 62.28, 'Mckenzie' 품종 68.03, 'Kingstar K1' 품종 63.47로 'Mckenzie' 품종이 다른 품종에 비해 통계적으로 유의차 있게 높은 것으로 조사되었으며, old 단계의 SPAD 값은 'Viking' 품종 17.52, 'Mckenzie' 품종 9.87, 'Kingstar K1' 품종 11.26으로 'Viking' 품종이 다른 품종에 비해 통계적으로 유의차 있게 높은 것으로 나타났다. 수확시기별 엽록소 함량 비교는 세 품종 모두 young 단계의 SPAD 값이 old 단계의 SPAD 값보다 큰 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 Yoo 등(2003)의 white clover 잎의 엽록소함량은 성숙이 진행 중인 시점에서 크게 증가한 뒤, 노화가 진행되는 시점에서 감소한다는 연구 결과와 유사하였다. 식물 잎의 엽록소 함량은 품종, 성숙도와 같은 여러 생물학적 요인과 빛, 온도 및 토양 특성과 같은 비생물학적 요인에 따라 차이가 발생할 수 있으며, 아로니아 잎은 다른 엽채류(chicory, dandelion, garden rocket, wild rocket)에 비하여 더 많은 총 엽록소를 포함하고 있다는 연구 결과도 보고되었다(Thi와 Hwang, 2014).

총 플라보노이드 함량

아로니아 잎의 품종 및 성숙도에 따른 총 플라보노이드 함량은 3품종 모두 young 단계가 'Viking' 품종 1554.69 mg CE/100 g FW, 'Mckenzie' 품종 1281.25 mg CE/100 g FW, 'Kingstar K1' 품종 1448.44 mg CE/100 g FW으로 old 단계보다 유의차 있게 높은 것으로 나타났다(p<0.05)(Fig. 1). 성숙도별 품종간 비교에서 young 단계는 'Viking', 'Kingstar K1', 'Mckenzie' 품종 순으로 높은 것으로 나타났으며, old 단계는 'Viking', 'Mckenzie', 'Kingstar K1' 품종 순으로 높은 것으로 조사되었다. 아로니아 잎은 노화가 진행될수록 플라보노이드 함량이 감소하는 것으로 나타났다. 아로니아 'Nero' 품종의 잎에도 본 연구 결과와 마찬가지로 80% 에탄올 추출물과 증류수 추출물에서 old 단계(각각 103.6, 56.4 mg/g DW)보다 young 단계(각각 163.7, 110.7 mg/g DW)의 플라보노이드 함량이 높은 것으로 보고되었다(Thi와 Hwang, 2014). Cezarotto 등(2017)은 블루베리 잎을 3월과 12월에 나눠 수확하여 플라보노이드 함량을 분석한 결과, 12월에 수확한 잎보다 3월에 수확한 잎이 더 높았다고 보고하였으며, 이러한 결과는 식물 화학 성분은 식물의 성숙도에 따라 달라지고 식물의 성숙도는 식물 조직의 생리학적, 생화학적, 구조적 과정에 반영되기 때문이라고 보고하였다. 생리활성물질이 풍부하다고 알려진 초크베리, 블루베리, 크랜베리 및 블랙 커런트 등의 베리류 잎은 플라보놀, 특히 케르세틴, 미리세틴 및 아글리콘의 비중이 높았으며, 이러한 플라보노이드 계열 물질은 강한 항염증 능력을 갖고 있다고 보고된 바 있다(Ferlemi와 Lamari, 2016; Joseph 등, 2014). 이처럼 플라보노이드 함량이 높은 아로니아 잎을 활용하여 향후 차로 가공하여 섭취하거나 항균 작용을 하는 건강지향적 의약품으로 개발하여 이용하였을 경우, 인체의 건강에 주는 효과 또한 높을 것으로 판단된다.

Table 1. Chlorophyll contents of *Aronia melanocarpa* leaves extracts

Cultivar	Maturity stage	Chlorophyll contents
Viking	Young	62.28±3.98$^{b1)}$
	Old	17.52±7.09^{c}
Mckenzie	Young	68.03±3.85^{a}
	Old	9.87±5.28^{d}
Kingstar K1	Young	63.47±4.92^{b}
	Old	11.26±8.38^{d}

[1)]Results are mean values±standard deviation from three measurements (n=10); means in the same column with superscript with different letters (a, b, c, and d) are significantly different at p<0.05.

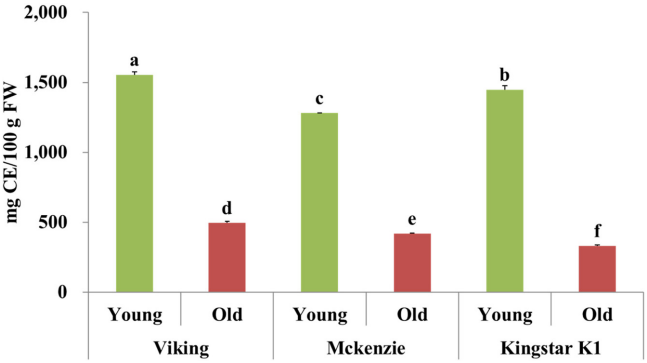

Fig. 1. Total flavonoids contents of *Aronia melanocarpa* leaves at different maturity stages. Vertical bars indicate standard deviation (n=3). Different letters are significant differences by Duncan's multiple range test (p<0.05).

총 페놀화합물 함량

아로니아 잎의 품종 및 성숙도에 따른 총 페놀화합물 함량은 3품종 모두 young 단계가 'Viking' 품종 2283.33 mg GAE/100 g FW, 'Mckenzie' 품종 1919.05 mg GAE/100 g FW, 'Kingstar K1' 품종 2219.05 mg GAE/100 g FW 으로 old 단계보다 유의차 있게 높은 것으로 나타났다(p<0.05)(Fig. 2). 성숙도별 품종간 비교에서 young 단계는 'Viking', 'Kingstar K1' 품종이 'Mckenzie' 품종보다 유의차 있게 높은 것으로 나타났으며, old 단계는 'Viking', 'Mckenzie' 품종이 'Kingstar K1' 품종보다 유의차 있게 높은 것으로 조사되었다. 결론적으로, 성숙도에 따른 아로니아 잎의 총 페놀화합물 함량은 총 플라보노이드 함량과 마찬가지로 숙성 과정 중 감소하는 결과를 나타내었다. 숙성 과정 중 감소한 것으로 조사된 플라보노이드는 페놀화합물의 주요 물질로 두 물질간의 상관관계는 매우 강하기 때문에 페놀화합물 또한 숙성 과정 중 감소한 것으로 판단된다. 블랙베리, 라즈베리 및 딸기의 열매와 young, old 단계 잎의 총 페놀화합물 함량을 조사한 연구에 의하면, 어린 잎은 오래된 잎보다 총 페놀화합물 함량이 높았다고 보고하였으며, 잎(1050~3230 mg/100 g)은 열매(91~338 mg/100 g)에 비해 높은 총 페놀화합물 함량을 갖는 것으로 보고되었다(Wang와 Lin, 2000). Thi와 Hwang(2014)의 성장 단계에 따른 아로니아 잎의 생리활성물질 및 항산화 활성 연구에서도 young 단계(250.8 mg/g DW)가 old 단계(139.3 mg/g DW)에 비해 총 페놀화합물 함량이 높았으며, 이러한 결과는 본 연구 결과와 유사한 결과임을 알 수 있다. 하지만, 모링가 잎과 시금치 잎은 미숙 단계에 비해

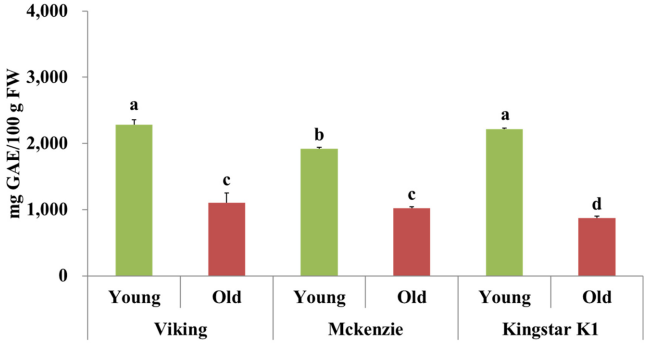

Fig. 2. Total phenolics contents of *Aronia melanocarpa* leaves at different maturity stages. Vertical bars indicate standard deviation (n=3). Different letters are significant differences by Duncan's multiple range test (p<0.05).

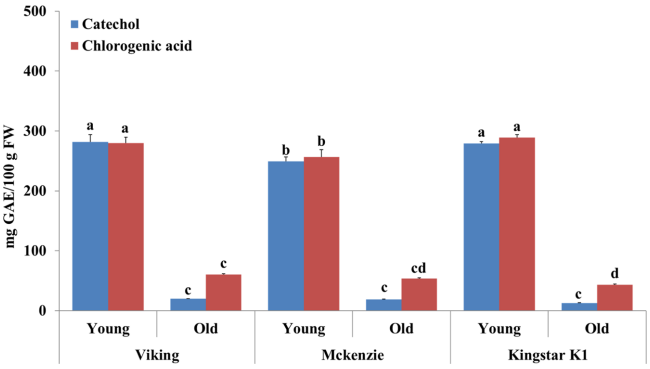

Fig. 3. Polyphenol contents of *Aronia melanocarpa* leaves at different maturity stages. Vertical bars indicate standard deviation (n=3). Different letters are significant differences by Duncan's multiple range test (p<0.05).

성숙 단계에서 총 페놀화합물 함량이 높은 수준으로 관찰되었으며, 이러한 보고에 비추어 볼 때, 항산화 물질 성분의 성숙 과정 중 반응은 모든 식물에서 동일하지 않음을 알 수 있다(Pandjaitan 등, 2005; Sreelatha와 Padma, 2009).

폴리페놀 함량

아로니아 잎 80% 에탄올 추출물의 폴리페놀 함량 측정 결과, 주요 폴리페놀은 catechol과 chlorogenic acid인 것으로 측정되었다(Fig. 3). Young 단계와 old 단계 잎의 catechol 함량은 'Viking' 품종 281.81, 19.77 mg/100 g, 'Mckenzie' 품종 249.37, 18.89 mg/100 g, 'Kingstar K1' 품종 279.38, 13.01 mg/100 g 순으로 성숙이 진행될수록 유의차 있게 감소하는 경향을 나타내었다. Chlorogenic acid 함량은 young 단계와 old 단계 잎 각각 'Viking' 품종 279.74, 60.54 mg/100 g, 'Mckenzie' 품종 256.54, 53.57 mg/100 g, 'Kingstar K1' 품종 288.48, 43.48 mg/100 g으로 catechol 함량과 마찬가지로 숙성 과정 중 유의차 있게 감소하였다. Thi와 Hwang (2014)의 연구에 의하면, 아로니아 잎 추출물의 chlorogenic acid 함량은 old 단계(10.8 mg/g DW)에 비해 young 단계(22.8 mg/g DW)가 통계적으로 유의차 있게 높았다고 보고하였다. 본 연구 결과의 chlorogenic acid 함량과 비교하였을 때, 전처리 방법, 수확 시기 등 다양한 요인에 의해 다소 차이는 있을 수 있지만 아로니아 어린 잎에는 보통 249.37-281.81 mg/100 g FW 수준의 chlorogenic acid 가 함유되어 있는 것으로 판단된다. Lee 등(2014)

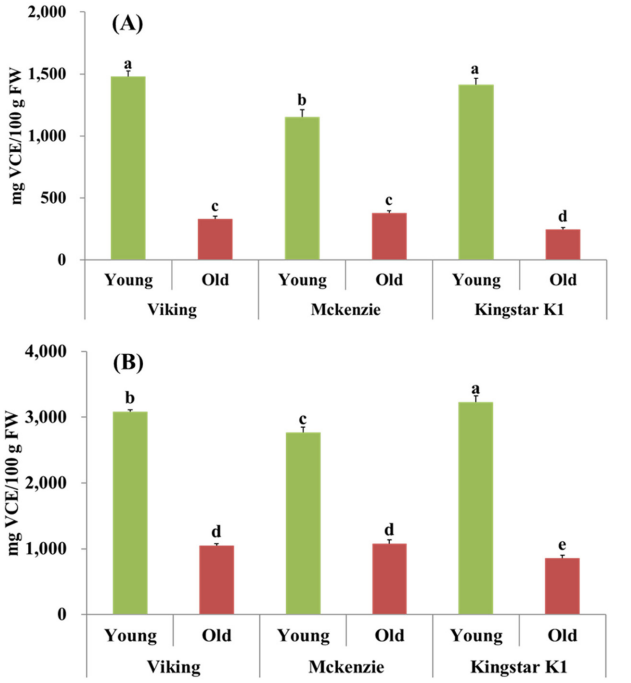

Fig. 4. DPPH (A) and ABTS (B) radical scavenging of *Aronia melanocarpa* leaves at different maturity stages. Vertical bars indicate standard deviation (n=3). Different letters are significant differences by Duncan's multiple range test (p<0.05).

의 액체 크로마토그래피를 이용한 초크베리의 폴리페놀 성분 분석 결과에 의하면 초크베리 잎에서 확인된 폴리페놀 성분의 총량은 어린 잎에서 가장 많았고, 어린 잎의 주요 성분은 약 76.9%로 구성된 카페인 유도체(Caffeoylquinic acid isomer)라고 보고하였으며, 이 성분의 농도는 숙성 과정 중 급격히 감소하였다. 아로니아는 식품원료목록 상 사용 가능한 부위로 열매만 등록되어 있지만, 여러 선행 연구와 본 연구 결과에서도 알 수 있듯이 아로니아의 잎은 기타 베리류에 비해 폴리페놀 함량이 높아 향후 고품질의 기능성 차로 활용하기에 유리할 것으로 판단된다.

DPPH 라디칼 소거능

총 항산화 능력을 나타내는 아로니아 잎의 DPPH 라디칼 소거능의 결과는 Fig. 4(A)와 같다. 80% 에탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 3품종 모두 young 단계가 'Viking' 품종 1479.41 mg VCE/100 g FW, 'Mckenzie' 품종 1155.26 mg VCE/100 g FW, 'Kingstar K1' 품종 1414.89 mg VCE/100 g FW으로 old 단계에 비해 유의차 있게 높은 것으로 나타났다(p<0.05). 성숙도 별 품종 간 비교에서는 young 단계에서는 'Viking', 'Kingstar K1' 품종이 'Mckenzie' 품종에 비해 유의차 있게 높았으며, old 단계에서는 'Viking', 'Mckenzie' 품종이 'Kingstar K1' 품종에 비해 유의차 있게 높은 것을 알 수 있었다. Thi와 Hwang (2014)의 아로니아 잎의 성숙도 별 DPPH 라디칼 소거능 결과, young 잎이 old 잎보다 높다는 결과와도 유사하였다. 또한, 기존의 연구들에 의하면 아로니아 잎의 DPPH 라디칼 소거능은 구아바, 블랙베리의 DPPH 라디칼 소거능보다 높은 것으로 조사되었다(Gawron-Gzella 등, 2012; Lee 등, 2012).

ABTS 라디칼 소거능

80% 에탄올 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 3품종 모두

Table 2. Pearson correlation between physical quality, antioxidant compounds, and activities of *Aronia melanocarpa* leaves extracts

	Total flavonoids	Total phenolics	ABTS	DPPH	Catechol	Chlorogenic acid
Chlorophyll	0.971**[1)]	0.958**	0.974**	0.957**	0.983**	0.983**
Total flavonoids		0.994**	0.992**	0.995**	0.993**	0.992**
Total phenolics			0.988**	0.992**	0.984**	0.985**
ABTS				0.992**	0.994**	0.994**
DPPH					0.992**	0.991**
Catechol						0.999**

[1)]Pearson correlation (R): $^{**}p<0.01$

young 단계가 'Viking' 품종 3086.55 mg VCE/100 g FW, 'Mckenzie' 품종 2768.06 mg VCE/100 g FW, 'Kingstar K1' 품종 3230.95 mg VCE/100 g FW 으로 old 단계에 비해 유의차 있게 높은 것으로 나타났다($p<0.05$) (Fig. 4(B)). 성숙도 별 품종 간 비교에서는 80% 에탄올 추출물 young 단계에서는 'Kingstar K1', 'Viking', 'Mckenzie' 품종 순으로 유의차 있게 높은 것으로 나타났으며, old 단계에서는 'Viking', 'Mckenzie' 품종이 'Kingstar K1' 품종에 비해 다소 높은 것을 알 수 있었다. 아로니아 잎의 성숙도 별 ABTS 라디컬 소거능은 DPPH 라디컬 소거능과 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과는 기존의 연구 결과들과도 유사하였으며 Wang 과 Lin(2000)은 블랙베리, 라즈베리 및 딸기의 young, old 잎의 항산화 능력 측정 결과, young 단계의 잎이 old 단계의 잎보다 항산화 능력이 높다고 보고하였다. 이러한 항산화 활성 경향은 품종 간의 활성 차이와 성숙도 간의 활성 차이는 품종별, 성숙도별 폴리 페놀의 농도와 관련이 있기 때문인 것으로 판단된다.

아로니아 잎의 일반 품질, 항산화 물질 및 항산화 능력 간의 상관관계

아로니아 잎 추출물의 항산화 물질과 항산화 능력 간의 상관관계 결과는 Table 2에 나타내었다. 총 플라보노이드와 총 페놀화합물(R=0.994), ABTS 라디컬 소거능(R=0.992), DPPH 라디컬 소거능(R=0.995), 총 페놀화합물과 ABTS 라디컬 소거능(R=0.988), DPPH 라디컬 소거능(R=0.992), 카테콜(R=0.984), 클로로겐산(R=0.985)은 매우 강한 양의 상관관계를 나타내었으며, 총 페놀화합물과 아로니아 잎의 주요 폴리페놀 물질인 카테콜, 클로로겐산 간의 상관관계 또한 각각 0.984, 0.985로 매우 높은 것으로 나타났다. Wang과 Lin (2000)의 연구에서도 항산화 능력과 총 페놀화합물 함량 간에는 유의한 상관 관계를 나타냈으며, 블랙베리, 라즈베리 및 딸기 잎에서 항산화 능력과 총 페놀화합물 함량 간의 상관관계는 각각 0.961, 0.911 및 0.996으로 매우 강한 상관관계를 나타냈다. 총 페놀화합물과 항산화 능력 간에 강한 상관관계는 주로 페놀화합물로 인한 것이라고 보고된 바 있다(Kahkonen 등, 1999; Sreelatha와 Padma, 2009).

요 약

국내에서 재배한 *A. melanocarpa* 잎의 성숙도에 따른 이화학적 특성 변화, 항산화 물질 조성 변화 및 항산화 능력과 같은 기능적 특성을 분석하여, 아로니아 잎의 성숙도별 이용 가능성을 확인하였다. *A. melanocarpa* 3품종의 잎의 폴리페놀, 플라보노이드, 페놀화합물 함량은 성숙이 진행될수록 감소하였고, 항산화물질과 상관관계가 높은 ABTS 라디컬 소거능 및 DPPH 라디컬 소거능 역시 감소하는 경향을 보였다. 현재, 블루베리는 잎과 열매 모두 식품원료로 등록되어 있으나, 아로니아의 경우는 식품의약안전처에서 고시한 식품원료목록 상 열매 부위만 등록되어 있는 실정이다. 아로니아 잎에는 chlorogenic acid와 catechol이 다량 함유되어 있고, 아로니아 잎의 항산화 능력은 기타 베리류와 비교하였을 때, 상당히 높은 수준인 것으로 확인된 바와 같이, 아로니아 잎은 향후 가공 식품 이외에 다양한 분야로의 활용 가능성이 충분할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 한국연구재단 이공학개인기초연구(과제번호: 2018R1D1A1B07041905)의 지원에 의해 이루어진 것이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Sci. Technol. 28: 25-30 (1995)

Cezarotto VS, Giacomelli SR, Vendruscolo MH, Vestena AS, Cezarotto CS, da Cruz RC, Maurer, LH, Ferreira LM, Emanuelli T, Cruz L. Influence of harvest season and cultivar on the variation of phenolic compounds composition and antioxidant properties in *Vaccinium ashei* leaves. Molecules 22 (2017)

Chanwitheesuk A, Teerawutgulrag A, Rakariyatham N. Screening of antioxidant activity and antioxidant compounds of some edible plants of Thailand. Food Chem. 92: 491-497 (2005)

Chen H, Zuo Y, Deng Y. Separation and determination of flavonoids and other phenolic compounds in cranberry juice by high-performance liquid chromatography. J. Chromatogr. A 913: 387-395 (2001)

Ehlenfeldt MK, Prior RL. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruits and leaf tissues of highbush blueberry. J. Agr. Food Chem. 49: 2222-2227 (2001)

Ferlemi AV, Lamari FN. Berry Leaves: An alternative source of bioactive natural products of nutritional and medicinal value. Antioxidants 5 (2016)

Floegel A, Kim DO, Chung SJ, Koo SI, Chun OK. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. J. Food Compos. Anal. 24: 1043-1048 (2011)

Gawron-Gzella A, Dudek-Makuch M, Matławska, I. DPPH radical scavenging activity and phenolic compound content in different leaf extracts from selected blackberry species. Acta. Biol. Cracov. Bot. 54: 32-38 (2012)

Joseph SV, Edirisinghe I, Burton-Freeman BM. Fruits: anti-inflammatory effects in humans. J. Agr. Food Chem. 62: 3886-3903 (2014)

Kahkonen MP, Hopia AI, Vuorela HJ, Rauha JP, Pihlaja K, Kujala TS, Heinonen M. Antioxidant activity of plant extracts containing

phenolic compounds. J. Agr. Food Chem. 47: 3954-3962 (1999)
Lee JE, Kim GS, Park S, Kim YH, Kim MB, Lee WS, Jeong SW, Lee SJ, Jin JS, Shin SC. Determination of chokeberry (*Aronia melanocarpa*) polyphenol components using liquid chromatography-tandem mass spectrometry: Overall contribution to antioxidant activity. Food Chem. 146: 1-5 (2014)
Lee WC, Mahmud R, Pillai S, Perumal S, Ismail S. Antioxidant activities of essential oil of *Psidium guajava* L. leaves. Apcbee. Proc. 2: 86-91 (2012)
Markwell J, Osterman JC, Mitchell JL. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Photosynth. Res. 46: 467-472 (1995)
Meyers KJ, Watkins CB, Pritts MP, Liu RH. Antioxidant and antiproliferative activities of strawfruits. J. Agr. Food Chem. 51: 6887-6892 (2003)
Pandjaitan N, Howard L, Morelock T, Gil M. Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and maturation. J. Agr. Food Chem. 53: 8618-8623 (2005)
Pirvu L, Hlevca C, Nicu I, Bubueanu, C. Comparative studies on analytical, antioxidant, and antimicrobial activities of a series of vegetal extracts prepared from eight plant species growing in Romania. JPC-J. Planar. Chromat. 27: 346-356 (2014)
Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical. Bio. Med. 26: 1231-1237 (1999)
Routray W, Orsat V. Variation of phenolic profile and antioxidant activity of North American highbush blueberry leaves with variation of time of harvest and cultivar. Ind. Crop. Prod. 62: 147-155 (2014)
Shin Y. Correlation between antioxidant concentrations and activities of *Yuja* (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka) and other citrus fruits. Food Sci. Biotechnol. 21: 1477-1482 (2012)
Sreelatha S, Padma PR. Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* leaves in two stages of maturity. Plant. Food. Hum. Nutr. 64: 303-311 (2009)
Teleszko M, Wojdyło A. Comparison of phenolic compounds and antioxidant potential between selected edible fruits and their leaves. J. Funct. Food. 14: 736-746 (2015)
Thi ND, Hwang ES. Bioactive compound contents and antioxidant activity in aronia (*Aronia melanocarpa*) leaves collected at different growth stages. Prev. Nutr. Food Sci .19: 204-212 (2014)
Wang SY, Lin HS. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. J. Agr. Food Chem. 48: 140-146 (2000)
Yoo SD, Greer DH, Laing WA, McManus MT. Changes in photosynthetic efficiency and carotenoid composition in leaves of white clover at different developmental stages. Plant. Physiol. Bioch. 41: 887-893 (2003)