



## Research Article

## Correlation between phytochemical contents in peel and flesh of cold-stored Fuji apple

저온 저장 후지 사과의 과피와 과육 중 파이토케미컬 함량의 상관관계

Jang-Soo Kim, Sang-Jae Kang\*

김장수 · 강상재\*

School of Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

경북대학교 응용생명과학부

**Abstract** This study determined the relationships between the total anthocyanin content in apple skin and the total polyphenols, flavonoids, proanthocyanidins, and soluble solids contents in the flesh of cold-stored Fuji apples. Total anthocyanin content in apple skin ranged from  $0.130 \pm 0.005$  mg CE/g fw to  $0.262 \pm 0.028$  mg CE/g fw, and the overall average was  $0.200 \pm 0.008$  mg CE/g fw. The total polyphenolic compounds in the flesh was ranged from a  $4.283 \pm 0.141$  mM GAE/g fw to  $8.207 \pm 0.234$  mM GAE/g fw, and the average content was  $6.275 \pm 0.177$  mM GAE/g fw. The total flavonoid content ranged from  $4.510 \pm 0.080$  mM QE/g fw to  $2.467 \pm 0.458$  mM QE/g fw, and the average total flavonoid content was about 3.586 mM QE/g fw. The total proanthocyanidin content was relatively high, ranging from  $3.475 \pm 0.577$  mM EE/g fw to  $6.816 \pm 0.277$  mM EE/g fw, and the soluble solid in the flesh was about 12 °Brix to 14 °Brix. The DPPH radical scavenging activity of extracts from apple flesh ranged from 66.36% to 94.99%, and the ascorbate equivalent concentration was 0.482 mM. The ABTS radical scavenging activity was 99.12% to 99.9%, indicating a higher inhibitory activity than the DPPH inhibitory activity, and the ascorbate equivalent concentration was 0.486 mM. The correlation between the total anthocyanin and total polyphenolic compounds was  $y = 15.192x + 3.2169$  ( $R^2=0.2748$ ), but the concentration of total polyphenolic compounds increased when the total anthocyanin content was increased. The correlation equation of total anthocyanin with total flavonoids was  $y = 15.18x + 0.5555$  ( $R^2=0.6226$ ), with total proanthocyanin was  $y = 14.918x + 2.3422$  ( $R^2=0.3372$ ), and with soluble solid was  $y = 10.558x + 11.126$  ( $R^2=0.1925$ ), indicating that the correlation of total anthocyanin with total flavonoid was higher than that with soluble solid.



OPEN ACCESS

**Citation:** Kim JS, Kang SJ. Correlation between phytochemical contents in peel and flesh of cold-stored Fuji apple. Food Sci. Preserv., 31(1), 112-125 (2024)

**Received:** January 09, 2024

**Revised:** January 31, 2024

**Accepted:** January 31, 2024

**\*Corresponding author**

Sang-Jae Kang

Tel: +82-53-950-5715

E-mail: kangsj@knu.ac.kr

Copyright © 2024 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Keywords** apple skin or flesh, anthocyanin, polyphenol, flavonoid, proanthocyanidin

## 1. 서론

사과 과실에서 폴리페놀 화합물의 생합성은 유전적으로나 생물학적으로 잘 제시되어 있으며,

품종에 따라 그 농도와 종류가 상이하다고 알려져 있다. 과피 중의 anthocyanin은 성숙단계에서 빠르게 생합성되어 과피 세포에 저장되는 플라보노이드 화합물의 일종이며, 사과에서 과피의 색은 상품적 가치를 높이거나 소비자가 선택하는 중요한 요소가 된다고 알려져 있기 때문에(Cho 등, 2008; Ubi, 2005) 후지 사과는 성숙기에 과피의 anthocyanin의 함량을 높이려고 하는 노력을 하고 있는 실정이다. 사과 중 anthocyanin을 포함하는 폴리페놀 화합물은 phenylalanine 으로부터 생합성되는 과정에서 *p*-coumaroyl-CoA로부터 페놀산인 chlorogenic acid와 phloridzin 등과, dichloroflavonols 화합물로부터 생성되는 flavonols (quercetin), leucoanthocyanidin과 anthocyanin으로부터 각각 합성되는 flavan-3-ols(catechin과 epicatechin), flavanols로부터 합성되는 proanthocyanidin(condensed tannins) 등이 생합성되어 과피와 과육에 다양한 폴리페놀 화합물이 존재한다(Henry-Kirk 등, 2012; Winkel-Shirley, 2001). 여러 연구자들이 사과 중 폴리페놀 화합물의 종류와 농도를 분석한 결과를 보면 과피와 과육 중에는 total anthocyanin을 비롯하여 많은 폴리페놀 화합물들을 품종이나 지역, 부위 등에 따라 차이가 있음을 확인하였다. 특히 부위별 폴리페놀 화합물의 종류와 농도를 확인한 결과를 보면, 과피에서는 과육에서보다 더 많은 종류의 폴리페놀 화합물이 존재하며 과피에서 평균 함유량은 과육에 비해 3.3 배 이상 더 높다고 하였다. 또한 과피와 과육에 같이 존재하는 폴리페놀 화합물의 종류는 dihydroxycinnamic acid ester(chlorogenic acid, *p*-coumaroylquinic acid)와 procyanidins(catechin, epicatechin, procyanidin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>), flavonol(quercetin-3-rhamnoside), dihydrochalcones (phloretin-2'-xyloglucoside, phloretin) 등이 존재한다고 하였으며, 이들 화합물 중 과육에서는 chlorogenic acid 농도가 가장 높다고 하였다(Lee 등, 2012; Oleszek 등, 1998; Tsao 등, 2003). 사과 중 총폴리페놀 화합물의 종류나 함량은 품종이나 성숙 정도, 지역, 저장 기간 등에 따라 차이가 나며, 총폴리페놀 화합물의 함량과 항산화 활성에 관한 연구도 여러 연구자들에 의해 수행되어 왔다(Bang 등, 2015; Lee 등, 2018; Liao 등, 2015; Youn 등, 2017). 특히 사과의 과육 중에 존재하는 주요 폴리페놀

화합물의 종류나 함량은 과실이 점차 성숙하는 과정에서 비교적 일정하게 유지되며, 과피와 과육 간의 농도는 서로 정적 상관관계를 가진다고도 하였다(Wojdylo 등, 2008). Henry-Kirk 등(2012)이 품종별 폴리페놀 화합물의 존재 여부를 분석한 결과를 보면, 과육 중에는 페놀산인 chlorogenic acid와 플라보노이드류인 catechin, epicatechin, quercetin 등이 주로 포함되어 있다고 하였다. 또한, Bogs 등(2005)은 tannin류인 proanthocyanidin은 leucoanthocyanidin 으로부터 소단위(subunit)가 합성되고 epicatechin과 catechin이 여러 유전자와 효소적 작용에 의해 특이적으로 축합되어 중합체의 형태로 과육 중에 함유되어 있으며 높은 항산화 활성을 나타낸다고 보고하였다. 여러 연구 결과를 보면 사과의 과육 중에 존재하는 폴리페놀 화합물은 chlorogenic acid가 가장 많이 함유되어 있으며, quercetin과 catechin과 epicatechin, proanthocyanidin 등과 같은 다양한 항산화 성분들을 함유하고 있다. 사과의 가식부 위인 과육 중의 폴리페놀 화합물들은 항산화 활성을 가지므로 사과는 사람의 건강과 관련된 중요한 역할을 하는 식품이라 할 수 있다(Eberhardt 등, 2000; Lancaster와 Dougall, 1992; Lee 등, 2018; Olivas-Aguirre 등, 2016; Tsao 등, 2005). Lee 등(2018)의 보고에 의하면 사과 부위별 항산화 성분과 항산화 활성은 과피에서 더 높다고 하였다. 사과 과피 중의 anthocyanin 함량은 높은 항산화 활성을 나타내는 성분일 뿐만 아니라 외형적 품질을 판단하는 주요 요인이며, 과육 중의 폴리페놀 화합물의 함량도 항산화 활성과 연관이 있기 때문에 중요한 품질요소라 할 수 있다(Lee 등, 2003; Vinson 등, 2001). 사과 부위별 추출방법과 추출물의 항산화 활성에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, anthocyanin 함량과 가식부위의 폴리페놀 화합물의 함량과의 관계에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 양호하다고 판단되는 고품질의 사과를 임의적으로 선정하여 일정 기간 저온 저장한 후 total anthocyanin 함량과 과육 중 주요 성분인 총폴리페놀 함량, 총플라보노이드 함량, total proanthocyanidin, 당도 등 화학적 특성을 분석하고 각각의 함량을 total anthocyanin 함량과의 상관관계에 대한 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 시료 조제

본 실험에 사용한 사과 시료는 경북대학교 실습농장에서 재배한 후지 사과(*Malus domestica* cv. Fuji)를 수확 후 곧바로 실험실로 운반하고 4℃ 저온고에서 약 60일간 저장한 시료를 실험용으로 사용하였다. 육안으로 판단하여 상품(Fig. 1)으로 분류되며 크기(260–270 g)가 균일한 사과 30개를 임의적으로 선정하여 시료로 하였다. 과피와 과육을 일반적인 방법으로 분리한 후 과피 시료는 total anthocyanin의 함량을 분석하기 위하여 과피에 부착된 과육을 완전히 제거하고 시료로 제조하였다. 과육 시료(가식부위)는 총폴리페놀 화합물과 총플라보노이드, total proanthocyanidin, 당도 등을 분석하기 위하여 씨방부위를 제거한 후 일정한 크기로 잘라 -80℃에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

### 2.2. Total anthocyanin 함량 측정

사과 과피 중 total anthocyanin 함량을 측정하기 위하여 과육을 완전히 제거한 과피 0.5 g을 정확하게 칭량하고 50배 부피의 추출 용액(1% HCl을 포함하는 메탄올 용액) 첨가하여 냉장고에서 24시간 추출하고 여과하는 과정을 2회 반복하여 여액을 수집하였다. 수집한 추출액을 감압 농축하고 에틸에터(ethyl ether)로 분획하여 엽록소와 카로티노이드, 지방 등을 제거하였다. 색소층을 다시 ethyl acetate로 분획한 후 수집하여 감압농축하고 메탄올 10 mL에 재용해하여 -20℃에서 보관하면서 분석용 시료로 사용하였다.

Total anthocyanin 함량의 측정은 pH에 의한 흡광도 차를 이용한 분석법(Lee, 2005)으로 보관 중인 시료 0.1 mL를 25 mM KCl 완충액(pH 1.0)과 400 mM CH<sub>3</sub>COONa 완충액(pH 4.5)를 각각 0.9 mL를 첨가하여 최종 부피를 1 mL로 하였으며, 이 과정을 3반복으로 측정하였다. 반응용액을 510 nm와 710 nm에서 각각 흡광도를 측정(microplate reader, BioTek, Winooski, VT, USA)하고 흡광도 차이를 total anthocyanin 함량의 계산식[(A × MW × V × 10<sup>3</sup> × DF) / (ε × L × w)]에 적용하여 생체 시료 g 당 cyanidin-3-O-glucoside 상당량(mg CE/g fw)을 total anthocyanin 함량으로 나타내었다.

### 2.3. 총폴리페놀 화합물, 총플라보노이드 및 total proanthocyanidin 함량

사과 과육 중 총폴리페놀 화합물과 총플라보노이드의 함량을 측정하기 위하여 Tsao 등(2003)의 방법을 약간 변형하여 추출하였다. 약 10 g의 시료에 10배 부피의 70% 에탄올 용액을 첨가하고, 진탕기(150 rpm, 25℃)에서 24시간 추출한 후 여과하는 과정을 2회 반복하고 상정액을 수집하였다. 추출액을 감압농축한 후 메탄올(HPLC 급) 5 mL로 재용해하여 -20℃에 보관하였다. Total proanthocyanidin의 추출은 Han 등(2012)의 방법을 수정하여 사용하였으며, 시료 일정량(10 g)을 칭량하여 5배 부피의 추출액[0.1%(w/v) ascorbate를 포함하는 70% 아세톤 용액]을 첨가하여 실온 암소에서 24시간 추출하고 하였다. 추출액을 원심분리(11,235 ×g, 4℃)하고 상정액을 수집하여 감압 농축한 후

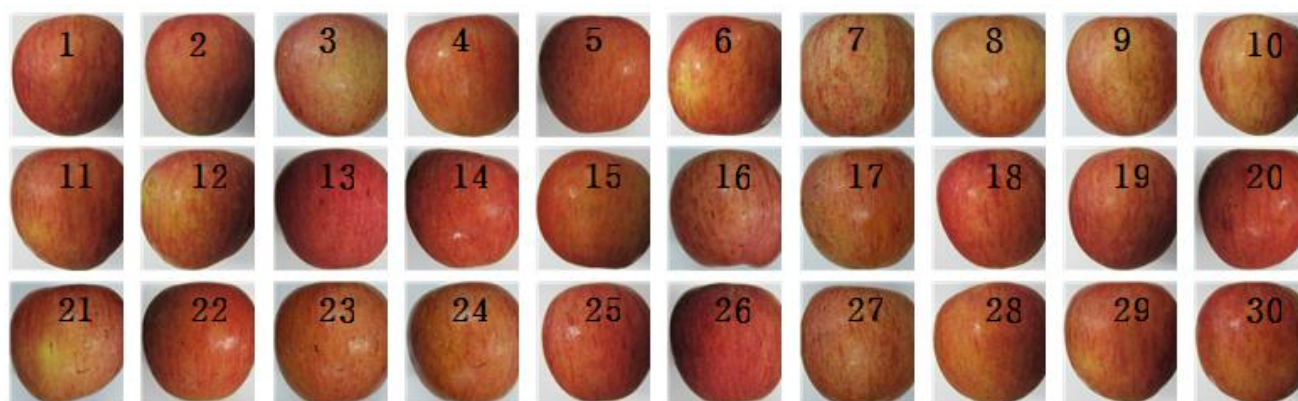


Fig. 1. Apple samples used in this experiment.

5 mL 메탄올에 재용해하고  $-20^{\circ}\text{C}$ 에 보관하였다.

### 2.3.1. 총폴리페놀 화합물 함량 측정

총폴리페놀 화합물의 함량의 측정은 F-C시약을 사용하는 Sánchez-Rangel 등(2013), Chen 등(2014), Hu 등(2018)의 방법을 종합적으로 혼용하여 측정하였다. 적절하게 희석한 추출액 0.1 mL를 반응용기에 3반복으로 분주하고, 1 M Folin-Ciocalteu 0.1 mL를 첨가하여 정확하게 5분간 반응시킨 후, 1 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  0.8 mL를 첨가하여 반응용액을 1 mL로 조정하였다. 반응용액을 실온에서 30분간 반응시키고 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총폴리페놀 함량은 gallic acid를 표준물질로 하여 함량을 계산하였으며, 생체 시료 당 gallic acid 상당량(mM GAE/g fw)을 총폴리페놀 함량으로 나타내었다.

### 2.3.2. 총플라보노이드 함량 측정

총플라보노이드 함량의 측정은 건강기능식품 공전의 분석법(MFDS, 2021) 방법으로 측정하였다. 보관 중인 시료 0.1 mL를 3반복으로 반응용기에 분주하고 에탄올 0.3 mL과 10%  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  0.02 mL, 1 M  $\text{CH}_3\text{COOK}$  0.02 mL, 증류수 0.56 mL를 첨가하여 반응용액의 최종 부피가 1.0 mL가 되도록 하였다. 반응용액을 실온 암실에서 40분간 반응시킨 후 415 nm에서 흡광도를 측정하고 quercetin을 표준물질로 하여 총플라보노이드 함량은 생체시료 g 당 quercetin 상당량(mM QE/g fw)을 총플라보노이드 함량으로 나타내었다.

### 2.3.3. Total proanthocyanidin 함량 측정

Total proanthocyanidin의 함량의 측정은 vanillin-HCl의 방법(Boadhurst와 Jones, 2003; Makker와 Becker, 2003)을 혼용하여 측정하였다. 추출액 0.1 mL를 3반복으로 반응용기에 분주하고 4% vanillin 용액 0.6 mL와 진한 염산 0.3 mL를 첨가하여 총 부피가 1 mL가 되도록 하였다. 반응용액을  $30^{\circ}\text{C}$ 에서 20분간 반응시킨 후 500 nm에서 흡광도를 측정하고 epicatechin을 표준물질로 하여 생체시료 g 당 epicatechin 상당량(mM EE/g fw)을 total proanthocyanidin 함량으로 나타내었다.

### 2.4. 당도

보관 중인 과육시료 일정량(10 g)을 칭량하고 약 5배 부피의 증류수를 첨가하여 호모게나이저로 현탁하고 현탁액 1 mL를 당도계(Atago, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정한 후  $^{\circ}\text{Brix}$ 로 나타내었다.

### 2.5. DPPH와 ABTS 라디칼 소거능 측정

DPPH 소거능과 ABTS 라디칼 소거능의 측정은 Shimamura 등(2014), Ozgen 등(2006) 등의 방법을 혼용하여 다음과 같이 측정하였다. DPPH 소거능을 측정은 500  $\mu\text{M}$  DPPH 저장용액을 5배 부피로 희석하여 실험용액( $\text{OD}=0.544$ )을 제조하여 사용하였다. DPPH 라디칼 소거능 측정은 시료 0.02 mL에 실험용액 0.18 mL를 첨가하고  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 반응시킨 후 515 nm에서 흡광도(microplate reader, Biotek Co, Winooski, VT, USA)를 측정하였다. ABTS 라디칼의 생성은  $\text{CH}_3\text{COONa}$  완충액(pH 4.5)를 사용하여 4.125 mM ABTS 용액을 제조하고,  $\text{ABTS} \cdot ^+$  라디칼의 생성과 안정화를 위하여 1.44 mM Potassium persulfate를 동량을 혼합하여 실온 암소에서 12시간 반응시켜 반응용액을 제조하고 82.5  $\mu\text{M}$ 의  $\text{ABTS} \cdot ^+$  실험용액( $\text{OD}=0.276$ )을 제조하여 사용하였다. ABTS 라디칼 소거능의 측정은 시료 0.02 mL를 3반복으로 분주하고 0.18 mL  $\text{ABTS} \cdot ^+$  실험용액을 넣고 잘 혼합 후  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 4시간 반응시키고 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH와 ABTS 라디칼 소거능 측정의 양성 대조는 ascorbate를 사용하였으며, 라디칼 소거능은 저해율(%)과 저해율에 상응하는 ascorbate 농도(mM)로 각각 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. Total anthocyanin, 총폴리페놀, 총플라보노이드, total proanthocyanidin 함량 및 당도

Anthocyanin은 사과 과피의 액포에 축적된 수용성 물질로서 사과의 색도를 나타내는 색소이며 일정 기간 저장한 사과 시료의 외형적 색도와 비교하기 위하여 total anthocyanin 함량을 측정한 결과는 Table 1과 같다.

Total anthocyanin 함량은 육안으로 색도가 비교적 높다고 판단되는 개개 사과의 과피 중에서도 차이가 많이 있



**Table 1.** Contents of total anthocyanins, total polyphenols, total flavonoids, total proanthocyanidins, and soluble solids in the skin or flesh of cold-stored *Fuji* apples

Sample no.	Total anthocyanin (mg CE/g fw)	Total polyphenol (mM GAE/g fw)	Total flavonoid (mM QE/g fw)	Total proanthocyanidin (mM EE/g fw)	Soluble solid (°Brix)
1	0.209±0.016 <sup>1)</sup>	5.449±0.301	3.606±0.285	5.665±0.318	12.6±0.5
2	0.205±0.003	5.871±0.156	3.700±0.213	5.526±0.288	12.5±0.3
3	0.162±0.024	4.283±0.141	2.951±0.262	4.875±0.319	13.5±0.4
4	0.180±0.007	6.277±0.628	3.279±0.325	6.297±0.361	13.1±0.5
5	0.213±0.010	7.673±0.133	3.915±0.267	5.438±0.309	13.0±0.4
6	0.203±0.005	7.269±0.083	2.871±0.131	5.136±0.365	14.0±0.4
7	0.159±0.008	7.550±0.322	3.337±0.195	5.702±0.392	13.7±0.6
8	0.130±0.005	5.587±0.149	2.504±0.077	5.150±0.364	12.4±0.5
9	0.133±0.008	4.769±0.230	2.685±0.179	3.720±0.360	12.3±0.5
10	0.165±0.004	5.802±0.595	2.467±0.458	3.475±0.577	13.3±0.6
11	0.192±0.009	5.927±0.144	2.937±0.153	4.614±0.207	14.1±0.3
12	0.154±0.009	5.412±0.039	2.494±0.148	3.877±0.402	13.5±0.2
13	0.211±0.005	5.860±0.387	3.281±0.144	6.736±0.154	14.4±0.6
14	0.212±0.020	7.432±0.255	3.990±0.115	5.099±0.345	14.6±0.6
15	0.206±0.005	8.270±0.234	3.911±0.130	5.133±0.184	14.3±0.2
16	0.202±0.016	6.814±0.332	3.705±0.197	4.917±0.390	12.6±0.5
17	0.178±0.028	5.512±0.169	2.991±0.257	5.514±0.257	12.3±0.3
18	0.235±0.005	7.666±0.280	3.829±0.344	6.076±0.474	14.2±0.5
19	0.243±0.020	5.678±0.119	4.045±0.174	5.092±0.203	14.3±0.2
20	0.260±0.020	6.865±0.138	4.510±0.086	6.816±0.277	14.2±0.3
21	0.180±0.006	6.389±0.176	3.423±0.187	5.600±0.201	12.6±0.2
22	0.226±0.016	5.202±0.560	3.834±0.372	5.254±0.376	13.2±0.3
23	0.208±0.019	7.536±0.206	4.392±0.369	5.407±0.386	13.3±0.5
24	0.206±0.005	6.162±0.247	4.289±0.193	4.761±0.092	14.1±0.3
25	0.262±0.028	7.466±0.470	4.479±0.218	6.273±0.422	14.3±0.3
26	0.244±0.008	6.553±0.097	4.345±0.231	5.675±0.276	13.1±0.3
27	0.182±0.002	5.147±0.280	4.410±0.444	4.209±0.160	12.3±0.2
28	0.200±0.011	5.122±0.777	3.359±0.402	4.700±0.296	12.2±0.4
29	0.215±0.025	6.575±0.270	4.274±0.502	6.720±0.135	13.1±0.4
30	0.214±0.011	6.128±0.189	3.763±0.224	6.152±0.150	13.5±0.5
Average	0.200±0.008	6.275±0.177	3.586±0.113	5.320±0.123	13.4±0.3

<sup>1)</sup>Values are mean±SD (n=3).

다는 것을 알 수 있다. Cyanidin-3-O-glucoside 상당량 0.130±0.005 mg CE/g fw에서 최대 0.262±0.028 CE/g fw 범위의 경향을 나타내었으며, 전체 평균 함량은

0.200±0.008 mg CE/g fw를 나타내었다. 전체 사과 중 total anthocyanin의 함량이 평균치보다 낮은 함량을 나타내는 수는 37% 정도였고, 나머지 63%는 평균치 이상의 함량을 나타내었다. 사과의 외형적 품질을 판단할 수 있는 색도를 기준으로 고품질로 판단되는 사과 과피 중의 total anthocyanin 함량은 개체에 따라 다소 차이가 있지만, 대체적으로 0.200 mg CE/g fw 정도를 기준으로 정할 수 있을 것으로 생각된다. 사과 과피의 total anthocyanin 함량을 다른 유색 농산물 중 아로니아와 블루베리 등의 cyanidin-*O*-galactose 배당체 함량을 분석 결과(Jeong 등, 2017)와 비교해 볼 때 사과 과피의 total anthocyanin의 함량이 비교적 높게 나타났다.

Yang 등(2020)의 보고에 의하면 anthocyanin을 함유하는 여러 가지 유색식물에서 pH 차이를 이용하여 건물 g 당 cyanidin-3-*O*-glucoside 상당량으로 나타낸 total anthocyanin의 함량과 HPLC를 이용하여 분석한 cyanidin-3-*O*-glucoside 배당체 함량을 분석한 결과를 비교하였을 때 90% 이상이 유사하다고 하였다. Tsao 등(2003)과 Ubi 등(2005)의 보고에 의하면 사과 중에 주로 존재하는 배당체는 cyanidin-3-*O*-galactoside이라고 하였으며, 이를 상당량 함량으로 나타낸 total anthocyanin 함량은 개별 배당체의 함량으로 나타낸 결과와 유사할 것으로 추정할 수 있다. 따라서 사과 과피에서 cyanidin-3-*O*-glucoside 상당량으로 나타낸 total anthocyanin 함량은 색도를 나타내는 화학적 특성으로 품질을 판단하는 요소로 사용할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 사과의 소비자 기호도 조사(Jung과 Kim, 2014)나 산지별 내외부 품질 특성 등을 연구한 결과(Lee 등, 2003)를 보면, 사과의 색도는 주로 Hunter's a 값을 측정하여 품질을 판단하는 기준으로 사용하지만 과피의 부위에 따라 편차가 매우 크므로 객관적인 사과 품질을 판단하기 위하여 a값과 과피 중의 total anthocyanin 함량과의 관계를 확립할 필요가 있을 것으로 생각된다.

과육 중 총폴리페놀 화합물의 함량은 항산화력을 비롯한 중요한 생물학적 활성이 매우 높게 나타내기 때문에 매우 중요한 품질 요소이며, 사과 시료 개개의 총폴리페놀 화합물의 함량을 측정한 결과는 Table 1과 같다. 일정 기간 저장한 사과의 과육 중 총폴리페놀 화합물의 함량은 개개의

사과 시료에서의 함량이 크게 다르게 나타났다. 사과 과육 중 총폴리페놀 화합물의 함량은 평균적으로 약 6.275±0.177 mM GAE/g fw를 나타내었으며, 분석에 사용한 개개 사과 시료의 총폴리페놀 화합물의 함량 최소 4.283±0.141 mM GAE/g fw에서 최대 8.207±0.234 mM GAE/g fw 정도 함유된 것으로 확인되었다. Burda 등(1990)과 Kim 등(2003)의 보고에 의하면 사과 과육 중에서 주로 존재하는 종류는 총폴리페놀 화합물로 대표되는 chlorogenic acid 등과 총플라보노이드류를 나타내는 quercetin, total proanthocyanidin류인 catechin, epicatechin 등의 총 함량으로 나타내며 품종이나 과실의 부위에 따라 크게 차이가 있다고 하였다. 과육 중 총폴리페놀 화합물의 농도를 gallic acid 상당량으로 환산해 보면 최소 0.806 mg/g fw에서 최대 1.544 mg/g fw 범위이며, 평균 함량은 약 1.181 mg/g fw 정도가 됨을 추정할 수 있다. Tsao 등(2003)의 보고에 의하면 여러 품종의 사과 과육에 들어있는 총폴리페놀 화합물의 함량은 평균 0.430 mg/g fw 정도라고 하였고, 본 연구에 사용된 후지 사과의 과육 중에도 상당량의 폴리페놀 화합물이 함유되어 있음을 추정할 수 있었다. 저온저장 중 사과 과육에서 폴리페놀 화합물은 비교적 일정하게 유지된다고 하였고, 과피와 과육 중 농도 사이에는 정의 상관관계를 가진다고 한 연구 결과(Burda 등, 1990)와 비교해 보면 본 실험에 사용한 후지 사과에서도 일정 기간 저온 저장한 이후에도 비교적 높게 존재한다고 추정할 수 있다. 또한, Lee 등(2018)은 사과 과피의 에탄올 추출물에서 폴리페놀 화합물의 농도가 과육에서 농도보다 약 2.4배 이상 더 높게 나타났다고 하였으나, 이 결과는 과피에서 총폴리페놀 함량은 total anthocyanin을 포함한 결과이므로 과피의 total anthocyanin 함량과 사과 과육 중 폴리페놀 화합물의 함량에 대한 비교 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. 한편, 사과의 과육과 과피에 현저하게 함유되어 있는 폴리페놀 화합물은 procyanidin류라고 하였고(Oleszek 등, 1988), 또 다른 연구자(Tsao 등, 2003)들은 여러 품종의 과육 중에 확인되는 폴리페놀 화합물은 catechin과 epicatechin이 주요 화합물이라고 하였으므로 이 함량을 gallic acid 상당량으로 나타내는 경우에는 차이가 다소 있을 것으로 예상할 수 있다.

일정 기간 저장한 사과 시료에서 과육 중 quercetin 상

당량으로 나타내는 총플라보노이드 함량을 측정한 결과는 Table 1과 같다. 총플라보노이드의 평균 함량은 3.586 mM QE/g fw 정도였으며, 총플라보노이드 함량은 최소  $2.467 \pm 0.458$  mM QE/g fw에서 최대  $4.510 \pm 0.080$  mM QE/g fw 범위에 있으며, 개개의 사과 시료에 따라 1.8배 이상의 차이가 나타났다. 총플라보노이드 함량을 quercetin 상당량으로 환산해 보면 생체시료 g 당 최소 0.834 mg/g fw에서 최대 1.524 mg/g fw의 범위에 있으며, 평균적으로 약 1.212 mg/g fw 정도로 함유되어 있는 결과를 보였다. 사과 과피 중에 존재하는 총플라보노이드 화합물은 주로 5종의 quercetin 배당체가 존재하는 것으로 잘 알려져 있으며, 과육에서는 quercetin-3-*O*-rhamnoside 배당체 1종 만이 확인되었다고 한 결과(Tsao 등, 2003)와 비교해 보면 사과 과육에 함유되어 있는 총플라보노이드는 quercetin rhamnoside 배당체의 함량으로 추정할 수 있다. 본 연구 결과에서 총플라보노이드 화합물은 quercetin 상당량으로 평균 약 1.212 mg/g fw 정도 함유되어 있는 것으로 확인되었다.

Total proanthocyanidin 화합물은 화학적으로 플라보놀류인 catechin과 epicatechin의 축합 형태인 플라보노이드류이며, 여러 식물에 존재하지만 사과에 상당량으로 존재한다고 알려져 있기 때문에 사과 과육 중 그 함량을 확인하기 위하여 분석한 결과는 Table 1과 같다. Total proanthocyanidin의 함량은 평균적으로  $5.320 \pm 0.123$  mM EE/g fw 정도 함유되어 있었다. 일정 기간 저장한 후지 사과의 과육 중 proanthocyanidin의 함량 범위는 최소  $3.475 \pm 0.577$  mg EE/g fw에서 최대  $6.816 \pm 0.277$  mg EE/g fw 정도로 실험에 사용한 개개의 사과 과실에서 약간의 함량 차이를 보였다. 본 연구에서 proanthocyanidin 함량을 epicatechin 상당량으로 환산해 보면 1.003 mg/g fw에서 1.977 mg/g fw 상당량으로 들어있으며 평균 함량은 1.543 mg/g fw이었다. Proanthocyanidin은 아로니아와 포도 종실, 포도 과피, 적색 포도주 뿐만 아니라 베리류의 과실과 녹차 등에도 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 사과에서 함량은 적색 포도주에 들어 있는 함량보다 8배 이상 들어 있다고 보고되어 있으며, 특히 사과 red delicious 품종에서 가장 높다고 알려져 있다(Hammerstone 등, 2000). Tsao 등(2003)의 보고에 의하면 과육 중에는

epicatechin을 포함하는 4종의 proanthocyanidins이 확인되었으며 사과 중의 epicatechin은 항산화 활성과 품질을 판단하는 중요한 인자로 알려져 있으며 과육에서도 존재가 확인되었다고 보고되어 있다(Oleszek 등, 1988). Proanthocyanidin의 구성성분인 catechin은 anthocyanin 전구물질인 leucoanthocyanidin으로부터 생합성되며, epicatechin은 anthocyanidin으로부터 생합성되기 때문에 anthocyanin 함량과 proanthocyanidin 함량과의 상관관계에 대한 연구를 추가적으로 연구할 필요가 있다고 생각된다.

사과 과육의 당도는 내부적 품질 요소일 뿐만 아니라 anthocyanin 생합성 경로에서 anthocyanin의 합성과 연관된 주요 요소이므로 가식부위에서 당도를 측정한 결과는 Table 1과 같다. 일정 기간 저장한 후지 사과 과육 중의 당도는 대부분의 사과 과실에서 12 °Brix에서 14 °Brix 정도로 5개 산지에서 생산한 사과의 당도인 평균 12.9 °Brix(Bang 등, 2015)와 6개 지역 평균 14.9 °Brix(Lee 등, 2003)와 유사한 결과를 나타내어 상급 품질에 해당한다고 할 수 있으며, 색도로 판단한 사과의 품질과 매우 유사함을 알 수 있다. Solfanelli 등(2006)의 보고에 의하면 아라비돕시스 식물에서 당은 신호물질로서 식물체 중에서 플라보노이드와 anthocyanin 생합성과 관련된 전체 유전자의 전사를 상향 조절시키는 작용을 한다고 하였으며, 특히 설탕은 플라보노이드와 anthocyanin 생합성 효소의 유전자를 암호화하는데 특이적으로 영향을 미친다고 하였다. 또한, Gollop 등(2002)의 여러 연구자들은 포도에서 설탕에 의해 anthocyanidin 생성효소(anthocyanidin synthase)가 상향 조절되며 설탕을 공급하면 anthocyanin 함량이 크게 증가하였다고 하였다. 이러한 연구 결과로 유추해 볼 때 사과 과육 중 당의 함량은 과피의 anthocyanin의 함량과 과육 내 총플라보노이드 화합물의 함량과 상관관계에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

### 3.2 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능 및 폴리페놀 화합물과 상관관계

사과 시료 과육 중의 추출물의 항산화작용의 라디칼 소거능 활성을 비교해 보기 위하여 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능을 측정한 결과 Fig. 2-4와 같다.

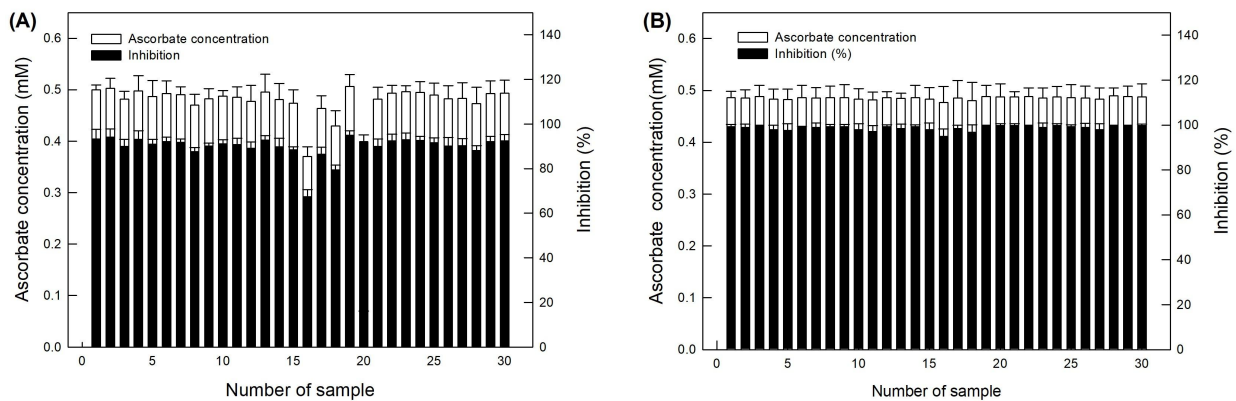


Fig. 2. Inhibition ratio and ascorbate concentration of DPPH (A) and ABTS (B) radical scavenging capacity in the flesh of cold-stored Fuji apples extracted with methanol. Values are mean $\pm$ SD (n=3).

Fig. 2에 나타난 바와 같이 사과 개개 시료의 추출액에 대한 DPPH 라디칼 소거활성은 최소 66.36%에서 최고 94.99%까지로 비교적 편차가 크며, ascorbate 상당량으로 나타난 평균 농도는 0.482 mM에 해당하는 항산화 활성을 나타내었다. ABTS 라디칼 소거 활성은 99.12%에서 100%까지 비교적 높은 저해활성을 나타내는 것으로 확인되었으며 ascorbate 상당량 농도는 평균 0.486 mM이었다. Ascorbate 상당량과 저해율이 매우 낮게 나타나는 경우도 있었으나 대부분 높은 저해율을 보였다. 낮은 저해율을 보이는 시료에 대해서는 폴리페놀 화합물의 농도와의 관계를 확인해 볼 필요가 있다고 생각된다.

사과의 부위별 항산화 성분 및 항산화 활성을 연구한 결과(Lee 등, 2018)를 보면 DPPH 라디칼 소거능은 물 추출물과 에탄올 추출물에서 과육에 비해 2배 이상 더 높다고 하였고, 70% 에탄올로 추출한 추출액에서 가장 높다고 하였다. ABTS 라디칼 소거능도 모든 추출물에서 과피에서 더 높은 활성을 보였다고 하였으나, 본 연구에서 70% 메탄올을 사용하여 추출한 과육의 추출물에서 비교적 높은 활성을 보였다. Bang 등(2015)은 후지 사과의 산지별 항산화 활성이 과피에서 활성이 가장 높으며, 과피에 가까운 과육에서 비교적 높은 활성을 보였다고 한 결과와 비교해 볼 때 사과의 과육에서도 비교적 높은 활성을 보였다. 과육 중 항산화 활성이 비교적 높은 것은 총폴리페놀 화합물 함량, 총플라보노이드 함량, total proanthocyanidin 함량 등과 밀접한 관련이 있을 것으로 생각되므로 추가적인 연구가 더 필요하다고 생각된다.

Fig. 3에서는 DPPH 라디칼 소거 활성을 개개의 폴리페놀 화합물과 ascorbate 상당량으로 나타내었다. 시료의 ascorbate 상당량이 평균적으로 0.482 mM일 때 총폴리페놀 화합물과 총플라보노이드의 함량, total proanthocyanidin 함량과의 상관성이 높지 않은 결과를 보였으며, 이는 개개의 화합물 농도보다 폴리페놀 화합물의 총 농도에 의해 항산화 활성이 나타나기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 ABTS 라디칼 소거 활성을 개개의 폴리페놀 화합물과 ascorbate 상당량으로 나타내었다. Ascorbate 상당량의 농도가 0.486 mM일 때 각 화합물의 농도와의 상관성이 크게 높지 않음을 알 수 있었다. ABTS 라디칼 소거 활성은 각 화합물의 농도와의 관계에서 ascorbate 상당량 농도의 편차가 DPPH 라디칼 소거 활성과 비교했을 때 비교적 넓은 분포를 보였다. DPPH와 ABTS 라디칼 소거 활성이 높지만 이들 폴리페놀 화합물과의 연관성이 비교적 낮은 것은 사과 과육 중 항산화 활성이 높은 ascorbic acid의 함량을 고려하지 않은 결과로 판단된다(Lee 등, 2018).

Kim 등(2003)의 보고에 의하면 사과에서 ABTS 항산화 활성과 관련된 주요 폴리페놀 화합물에 대한 ascorbate 상당량의 상대적 값은 quercetin의 활성이 가장 높으며 ascorbate에 비해 3.06배 정도로 가장 높다고 한 결과와 큰 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 과육 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 추출물의 총폴리페놀 화합물 농도와 깊은 관련이 있으며, 개개의 화합물의 함량과의 상관관계가 크게 나타나지 않았다.



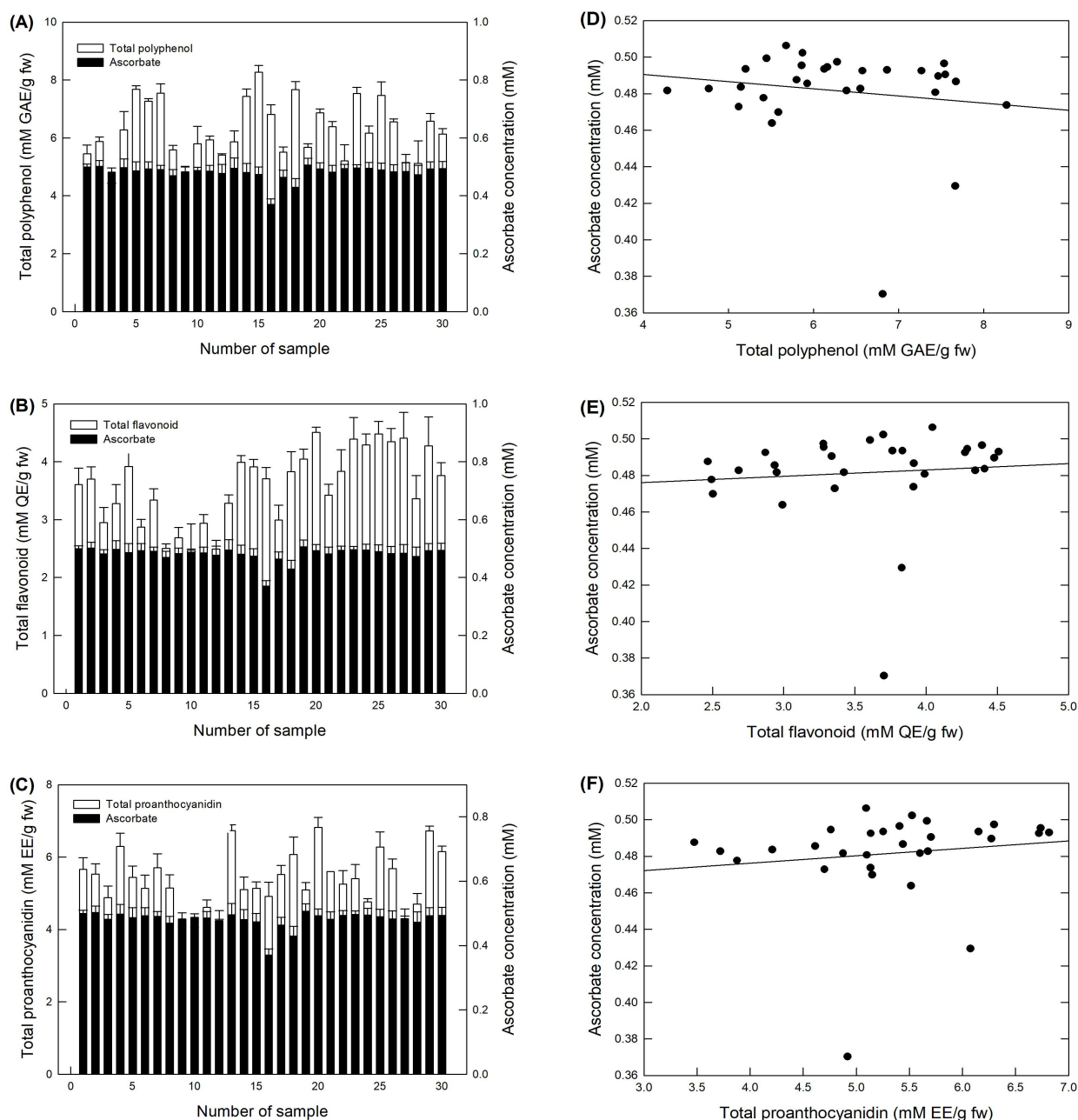


Fig. 3. DPPH radical scavenging capacity and correlation between ascorbate concentration and total polyphenol content (A and D), total flavonoids (B and E), and total proanthocyanidins (C and F) in the flesh of cold-stored *Fuji* apples. Values are mean $\pm$ SD (n=3).

### 3.3. Total anthocyanin 함량, 총폴리페놀 화합물, 총플라보노이드 및 total proanthocyanidin 함량과 상관관계

사과 시료의 과피 중 total anthocyanin 함량과 과육 중의 총폴리페놀 화합물의 함량의 확인한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 과피의 total anthocyanin 평균 함량은

0.200 $\pm$ 0.003 mg CE/g fw이며 개개의 시료 간의 편차가 상당히 있었다(Table 1). Fig. 5에 나타낸 바와 같이 일정 기간 저장한 개개의 사과 시료에서 total anthocyanin 함량과 총폴리페놀 화합물의 함량(Fig. 5(A))과 총플라보노이드 함량(Fig. 5(B)), total proanthocyanidin 함량(Fig.

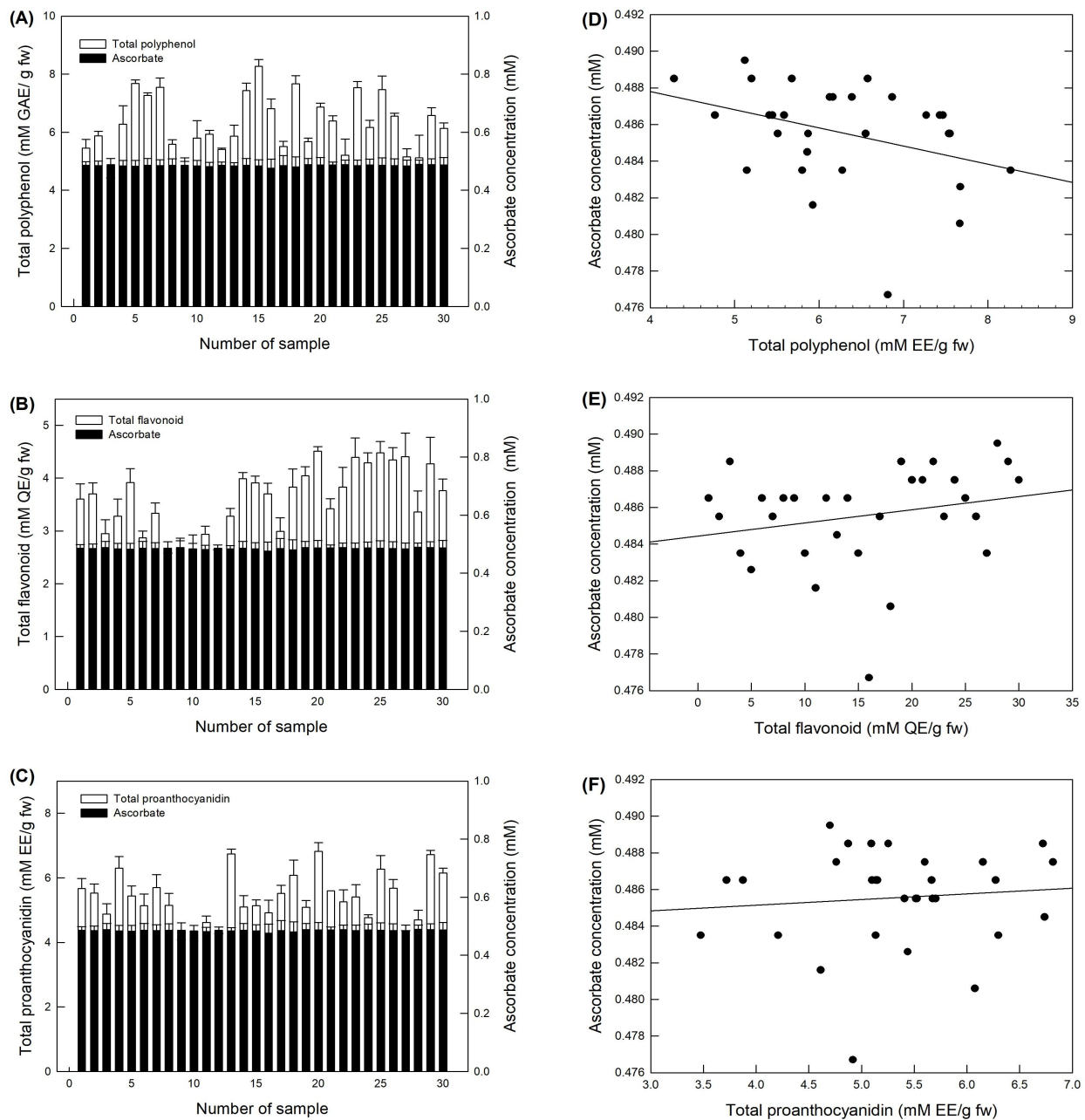


Fig. 4. ABTS free radical scavenging capacity and correlation between ascorbate concentration and total polyphenol content (A and D), total flavonoids (B and E), and total proanthocyanidins (C and F) in the flesh of cold-stored *Fuji* apples. Values are mean $\pm$ SD (n=3).

5(C)), 당도(Fig. 5(D)) 등과의 관계가 비교적 높다고 할 수 있었다.

사과 시료의 과피 중 total anthocyanin 함량과 과육 중 총 폴리페놀함량, 총플라보노이드 함량, total proanthocyanidin 함량, 당도 등과의 관계를 좀 더 상세하게 확인하기 위하여

상관관계를 나타낸 결과는 Fig. 6과 같다.

Total anthocyanin 함량과 총폴리페놀 화합물과의 상관관계는 비교적 낮게 나타났지만( $y = 15.192x + 3.2169$ ) ( $R^2=0.6226$ ) total anthocyanin 함량이 높아지면 총폴리페놀 화합물의 농도가 비례적으로 증가하는 것으로 확인되

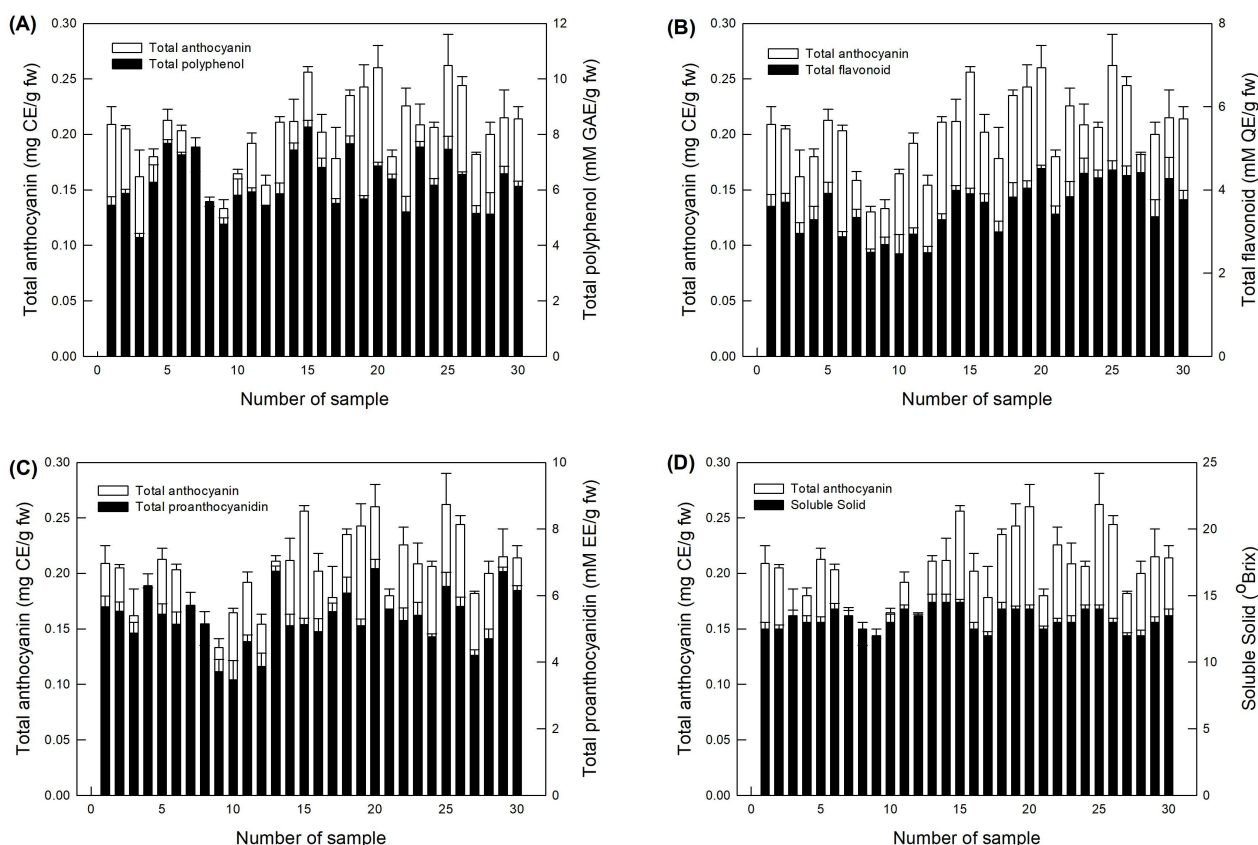


Fig. 5. Total anthocyanins content in the skin and total polyphenols (A), total flavonoid (B), total proanthocyanidins (C), and soluble solids (D) in the flesh of cold-stored *Fuji* apples. Values are mean $\pm$ SD (n=3).

었다. 총폴라보노이드와의 상관관계식은  $y = 15.18x + 0.555$  ( $R^2=0.6226$ ), total proanthocyanidin과의 상관관계식은  $y = 14.918x + 2.3422$  ( $R^2=0.3372$ ), 당도와의 상관관계식은  $y = 10.558x + 11.126$  ( $R^2=0.1925$ )이었다. 이 결과를 보면 과피 중 total anthocyanin의 함량과 총폴라보노이드 함량과의 상관관계가 비교적 높은 결과를 나타내므로 사과 과피의 anthocyanin 함량이 높은 사과에서 과육 내 총폴라보노이드 함량은 비교적 높다고 추정할 수 있다.

결론적으로 본 연구에서는 소비자 선택기준이 되는 색도는 붉은색을 나타내는 a값보다는 과피 중의 total anthocyanin 함량을 기준으로 설정하는 것이 더 타당하다고 할 수 있으며, 총폴리페놀 화합물 함량과 총폴라보노이드, total proanthocyanidin, 당도 등의 함량을 내부 품질요인으로 설정하고자 하였을 때 total anthocyanin 함량과 총폴라보노이드 함량과의 상관관계가 비교적 높다고 할 수 있었다.

#### 4. 요약

사과 과피의 total anthocyanin의 함량과 과육 중 총폴리페놀 함량과 총폴라보노이드 함량, total proanthocyanidin 함량, 당도 등의 함량을 확인하고 이들 간의 상관관계를 확인하였다. 과피의 total anthocyanin의 함량은  $0.130 \pm 0.005$  mg CE/g fw에서  $0.262 \pm 0.028$  mg CE/g fw의 범위를 나타내었으며, 전체 평균  $0.200 \pm 0.008$  mg CE/g fw를 나타내었다. 사과 과육 중 총폴리페놀 화합물의 함량은  $4.283 \pm 0.141$  mM GAE/g fw에서  $8.207 \pm 0.234$  mM GAE/g fw까지 함유되어 있었으며 평균 함량은  $6.275 \pm 0.177$  mM GAE/g fw 정도였다. 총폴라보노이드 화합물의 평균 함량은 3.586 mM QE/g fw 정도이며,  $2.467 \pm 0.458$  mM QE/g fw에서  $4.510 \pm 0.080$  mM QE/g fw 범위에 있었다. 과육 중 total proanthocyanidin의 함량은  $3.475 \pm 0.577$  mM EE/g fw에서  $6.816 \pm 0.277$  mM

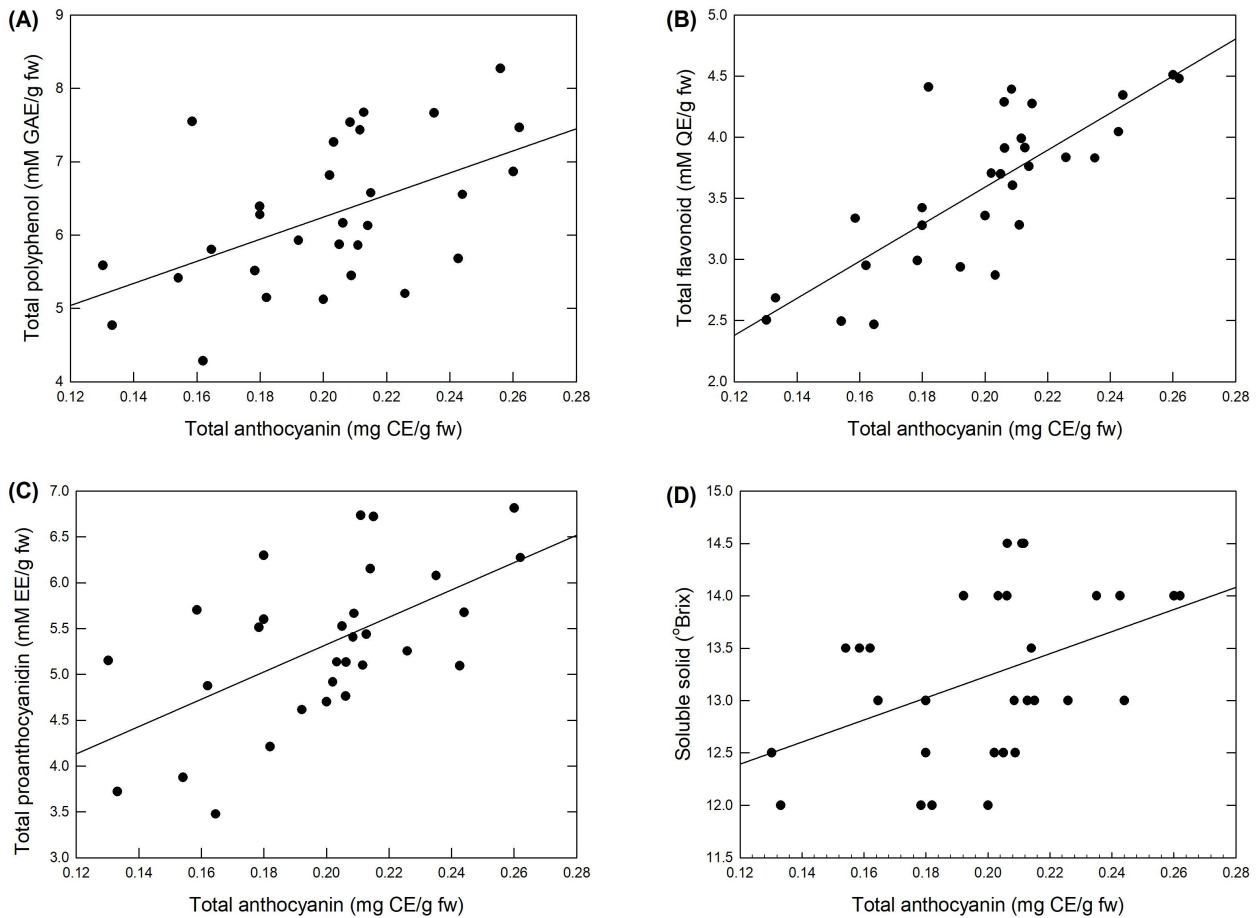


Fig. 6. Correlation between anthocyanin content in the skin and total polyphenols (A), total flavonoids (B), and proanthocyanidins (C), and soluble solids (D) content in the flesh of cold-stored *Fuji* apples. Values are mean $\pm$ SD (n=3).

EE/g fw 정도로 비교적 큰 차이를 보였으며, 과육의 당도는 대부분 12 °Brix에서 14 °Brix 정도였다. DPPH 라디칼 소거능 활성(%)은 개개의 사과 시료에서 66.36%에서 94.99%까지로 비교적 편차가 크며, ascorbate 상당량 0.482 mM에 해당하는 항산화 활성을 나타내었다. ABTS 라디칼 소거 활성도는 99.12%에서 99.9%까지 저해하는 것으로 나타나 DPPH 라디칼 소거능보다 비교적 더 높은 저해 활성을 나타내었으며 ascorbate 상당량은 0.486 mM였다. total anthocyanin과 총폴리페놀 화합물과의 상관관계는  $y = 15.192x + 3.2169$  ( $R^2=0.2748$ ), 총플라보노이드와의 상관관계는  $y = 15.18x + 0.555$  ( $R^2=0.6226$ ), total proanthocyanidin과의 상관관계는  $y = 14.918x + 2.3422$  ( $R^2=0.3372$ ), 당도와의 상관관계는  $y = 10.558x + 11.126$  ( $R^2=0.1925$ )로 나타났으며, 이중 total anthocyanin

과 총플라보노이드와의 상관관계가 가장 높았으며 당도와의 상관관계가 가장 낮은 것으로 확인되었다.

#### Funding

None.

#### Acknowledgements

None.

#### Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

#### Author contributions

Conceptualization: Kim JS, Kang SJ. Methodology: Kim JS, Kang SJ. Formal analysis: Kim JS, Kang SJ.



Validation: Kang SJ. Writing – original draft: Kim JS.  
Writing – review & editing: Kim JS, Kang SJ.

### Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

### ORCID

Jang-Soo Kim (First author)

<https://orcid.org/0009-0000-1602-5884>

Sang-Jae Kang (Corresponding author)

<https://orcid.org/0009-0005-8887-7214>

## References

- Bang HY, Cho SD, Kim D, Kim GH. Comparison of antioxidative activities of Fuji apples parts according to production region. *J Kor Soc Food Sci Nutr*, 44, 557–563 (2015)
- Boadhurst RB, Jones WT. Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. *J Sci Food Agric*, 29, 788–794 (1978)
- Bogs J, Downey MO, Harvy JS, Ashton AR, Tanner GJ, Robinson SP. Pro anthocyanidin synthesis and expression of genes encoding leucoanthocyanidin reductase and anthocyanidin reductase in developing grape berries and grapevine leaves. *Plant Physiol*, 139, 652–663 (2005)
- Burda S, Oleszek W, Lee CY. Phenolic compounds and their changes in apples during maturation and cold storage. *J Agric Food Chem*, 38, 945–948 (1990)
- Chen LY, Cheng CW, Liang HY. Effect of estrification condensation on the folin-ciocalteu method for the quantitative measurement of total phenols. *Food Chem*, 170, 10–15 (2014)
- Cho SD, Kim DM, Kim GH. Survey on consumer perceptions of the sensory quality attributes of apple. *Korean J Food Preserv*, 15, 810–815 (2008)
- Eberhardt MV, Lee CY, Liu RH. Antioxidant activity of fresh apples. *Nature*, 405, 903–904 (2000)
- Gollop R, Farhi S, Peri A. Regulation of the leucoanthocyanidin dioxygenase gene expression in *Vitis vinifera*. *Plant Sci*, 161, 579–588 (2001)
- Hammerstone JF, Lazarus SA, Sheryl A, Schmitz HH. Procyanidin content and variation in some commonly consumed foods. *J Nutr*, 130, 2086–2092 (2000)
- Han Y, Vimolmangkang S, Soria-Guerra RE, Korban SS. Introduction of apple ANR genes into tobacco inhibits expression of both CHI and DFR genes in flowers, leading to loss of anthocyanin. *J Exp Bot*, 63, 2437–2447 (2012)
- Henry-Kirk RA, Mcghi TK, Andre CM, Hellehs RP, Allan AC. Transcriptional analysis of apple fruit proanthocyanidin biosynthesis. *J Exp Bot*, 63, 5437–5450 (2012)
- Hu S, Kim JA, Moon MH, Lee SH, Yoon HS, Hong JH. Standardization for analysis method of total polyphenol in complex of picao preto. *J Food Hyg Saf*, 33, 44–49 (2018)
- Jeong IH, Oh MS, Jeon JS, Kim HT, Hong SR, Park KH, Yoon MH. A comparative study on anthocyanin and polyphenol contents in colored agricultural products. *J Food Hyg Saf*, 32, 371–380 (2017)
- Jung HY, Kim SS. Identification of ideal size and drivers for consumer acceptability of apple. *Korean J Food Preserv*, 21, 618–626 (2014)
- Lancaster JE, Dougall DK. Regulation of skin color in apples. *Crit Rev Plant Sci*, 10, 487–502 (1992)
- Lee HW, Kim SH, Hong SI, Jeong MC, Park HW, Kim DM. Internal and external quality of Fuji apples. *Korean J Food Preserv*, 10, 47–53 (2003)
- Lee J. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *J AOAC Int*, 88, 1269–1278 (2005)
- Lee KH, Yoon YJ, Kwon HW, Lee EH. Antioxidant component and activity of different part

- extracts in apple (*Malus domestica* cv. *Fuji*). Kor J Food Nutr, 31, 858–864 (2018)
- Lee KW, Kim YJ, Kim DO, Lee HJ, Lee CY. Major phenolics in apple and their contribution to the total antioxidant capacity. J Agric Food Chem, 51, 6516–6520 (2003)
- Lee MY, Yoo MS, Whang Y, Jin YJ, Hong MH, Pyo YH. Vitamine C, total polyphenol, flavonoid content and antioxidant capacity of several fruit peel. Korean J Food Sci Technol, 44, 540–544 (2012)
- Liao L, Vimolmangkang S, Wei G, Zhou H, Korban SS, Han Y. Molecular characterization of genes encoding leucoanthocyanidin reductase involved in proanthocyanidin biosynthesis in apple. Front Plant Sci, 6, 243–256 (2015)
- Makker HPS, Becker K. Vanillin–HCl method for condensed tannins: Effect of organic solvent used for extraction of tannins. J Chem Ecol, 19, 613–621 (2003)
- MFDS. Health Functional Food Code. Ministry of Food and Drug Safety, Chenongju, Korea (2021)
- Oleszek W, Chang CY, Jaworski AW, Price KR. Identification of some phenolic compounds in apple. J Agric Food Chem, 36, 430–432 (1988)
- Olivas–Aguirre FJ, Rodrigo–Garcia J, del Marinez–Ruiz N, Cardenas–Robles AI, Mendosa–Diaz SO, Alvarez–Parrilla E, Gonzales–Aguilar GA, de la Rosa LA, Ramos–Jimenez A, Wall–Medrano A. Cyanidin–3–*O*–glucoside: Physical–chemistry, foodomics and health effects. Molecules, 21, 1264–1294 (2016)
- Ozgen M, Reese RN, Tulio AZ Jr, Scheerens JC, Mikker AR. Modified 2,2–Azino–*bis*–ethylbenzothiazoline–6–sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparision to ferric reducing anthoxidant power (FRAP) and 2,2′–diphenyl–1–picrylhydrazyl (DPPH) methods. J Agric Food Chem, 54, 1151–1157 (2006)
- Sanchez–Rangel JC, Benavides J, Heredia JB, Zevallos LC, Jacobo–Velazquez DA. The folin–ciocalteu assay revisited: Improvement of its specificity for total phenolic content determination. Anal Methods, 5, 5990–5999 (2013)
- Shimamura T, Sumikura Y, Yamazaki T, Tada A, Kashiwage T, Ishikawa H, Sigimoto N, Akiyama H, Ukeda H. Applicability of the DPPH assay for evaluating the antioxidant capacity of food additives: Inter laboratory evaluation study. Anal Sci, 30, 717–721 (2014)
- Solfanelli C, Poggi A, Loreti E, Alpi A, Perata P. Sucrose–specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in Arabidopsis. Plant Physiol, 140, 637–646 (2006)
- Tsao R, Yang R, Xie S, Sockovie E, Khanizadeh S. Which polyphenolic compounds to the total antioxidant activities of apple? J Agric Food Chem, 53, 4889–4995 (2005)
- Tsao R, Yang R, Young JC, Zhu H. Polyphenolic profiles in eight apple cultivar using high–performance liquid chromatography (HPLC). J Agric Food Chem, 51, 6347–6353 (2003)
- Ubi BE, Honda C, Bessho H, Kondo S, Wada M, Kobayashi S, Moriguchi T. Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin: Effect of UV–B and temperature. Plant Sci, 170, 571–578 (2005)
- Vinson JA, Su XH, Zubik L, Bose P. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Fruits. J Agric Food Chem, 49, 5315–5321 (2001)
- Winkel–Shirley B. Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. Plant Physiol, 126, 485–493 (2001)
- Wojdylo A, Oszmiaski J, Laskovski P. Polyphenolic compounds and antioxidant capacity of new and old apple varieties. J Agric Food Chem, 56, 6520–6530 (2008)
- Youn SJ, Rhee JK, Lee H. Comparision of total phenolic, total flavonoids content, and antioxidants capacities of an apple cultivar (*Malus domestica* cv. *Fuji*) peel powder prepared by different powdering methods. Food Eng Prog, 21, 326–321 (2017)