

분말가공법에 따른 국내산 사과껍질분말의 총페놀, 총플라보노이드 및 항산화능 비교

윤소정 · 이진규¹ · 이형재*

단국대학교 식품공학과, ¹이화여자대학교 식품공학과

Comparison of Total Phenolics, Total Flavonoids Contents, and Antioxidant Capacities of an Apple Cultivar (*Malus domestica* cv. Fuji) Peel Powder Prepared by Different Powdering Methods

So Jung Youn, Jin-Kyu Rhee¹, and Hyungjae Lee*

Department of Food Engineering, Dankook University

¹Department of Food Science and Engineering, Ewha Womans University

Abstract

A cultivar (*Malus domestica* cv. Fuji) of apple was selected to make apple peel (AP) powder by three different powdering methods. Frozen AP was thawed and subsequently was dried or ground without drying. After AP was dried by hot-air drying at 60°C or freeze-drying, the dried AP was ground using a conventional blender. Separately, the thawed AP was powered by using a cryogenic micro grinding technology (CMGT). The ground AP and three types of AP powder were extracted using deionized water, 20, 40, 60, 80, or 100% methanol, followed by vacuum evaporation. The total phenolics contents (TPC), total flavonoids contents (TFC), DPPH, and ABTS radical scavenging capacities of each extract were compared to determine an efficient powdering method. Lyophilized AP powder extract using 60% methanol showed the highest TPC and DPPH radical scavenging capacity. In contrast, 60% methanol extract of the powder by CMGT, resulting in the smallest particle, exhibited the highest TFC and ABTS radical scavenging capacity. This study suggests that the extraction yield of bioactive compounds from AP may be varied according to different powdering methods and that a new powdering process such as CMGT may be applicable to develop functional foods efficiently.

Key words: apple peel, total phenolics contents, total flavonoids contents, antioxidant capacity, powdering

서 론

과일 중 전 세계적으로 많이 재배되고 있는 사과는 20세기 초반에 우리나라에 도입되어 현재 전체 과수재배면적의 40%를 차지할 정도로 많이 생산되고 있다(Kim et al., 2014). 그 중 후지(*Malus domestica* cv. Fuji) 사과는 크기가 크고 당도와 경도가 높아 세계각지에서 선호되고 있는 품종이다. 사과는 오래 전부터 식이섬유와 비타민 C가 풍부한 것으로 알려져 있으며(Park et al., 2012), 최근에는 catechin, procyanidins, dihydrochalcones, flavonols 및 hydroxycinnamic acid 등의 페놀화합물이나 플라보노이드

류, 항산화물질 등 다양한 기능성 성분을 함유하여 각광받고 있다(Alvarez-Parrilla et al., 2005; Stracke et al., 2010; Heras-Ramírez et al., 2012; Kim & Park, 2013). Amiot et al. (1995) 연구에서 과일 속 페놀화합물 성분은 품종, 성숙 정도, 색상, 저장 조건 등에 따라 크게 변한다고 하였다. 폴리페놀은 사과의 주요 항산화 성분으로 특히 과피에 함유량이 과육보다 품종에 따라 약 2-9 배 정도 많은 것으로 알려져 있으며(Eberhardt et al., 2000; Lee et al., 2003; Schieber et al., 2003; Tsao et al., 2003), 함유된 플라보노이드는 매우 강력한 항산화 효과를 가지고 있다. 사과의 경우 대부분 과육을 사용하여 식품을 만들지만 과피의 기능적 측면을 생각 할 때 과육이나 합성소재를 대신하는 천연 항산화제로서의 이용가치가 크다고 할 수 있다(Boyer & Liu, 2004).

최근 식품분야에서 각광 받고 있는 초미세분쇄기술은 입자크기를 감소시켜 조직감을 개선시키거나 식품 및 재료의 용해성과 흡수성을 높일 수 있고(Zhang et al., 2005), 타

*Corresponding author: Hyungjae Lee, Department of Food Engineering, Dankook University, 119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan, Chungnam 31116, Korea
Tel: +82-41-550-3561; Fax: +82-41-559-7868
E-mail: lee252@dankook.ac.kr
Received August 13, 2017; revised August 22, 2017; accepted September 2, 2017

원료와의 혼합능이 우수하며, 재료의 유효성분이나 색과 향, 풍미를 최대한 보존할 수 있어 식품재료나 원료를 분쇄하는 목적으로 이용되고 있다. 또한, 물질의 표면적을 넓혀줌으로써 난분해성 물질의 용해도를 높이고, 식품 원물의 고유한 특징을 유지시켜주는 장점이 있다(Muller & Keck, 2004; Heo et al., 2010).

지금까지 보고된 사과 관련 논문을 살펴보면 외국에서는 사과나 사과껍질의 기능성과 제품개발 등의 연구가 진행되고 있지만 국내에서 사과껍질의 항산화능을 분석하거나 이를 이용하여 식품에 적용한 연구 및 제품은 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 생산된 사과의 부산물로 가공시 버려지는 사과껍질을 사용하여 분말화 가공법을 달리한 사과껍질 분말을 제조 후, 기능성을 확인하고자 했다. 이를 위하여 사과껍질의 총페놀, 총플라보노이드 함량 및 항산화능을 상대적으로 높일 수 있는 가공법을 알아보고, 제품개발 가능성을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에서 사용한 사과껍질은 (주)우양냉동(Seocheon, Korea)에서 제공받아 -18°C 에서 저장하여 시료로 사용하였다. 건조 후 분말화된 사과껍질과 비교하기 위해, 사과껍질을 상온에서 해동 후 건조하지 않고 분쇄기(HMF-1600PB, Hanil, Seoul, Korea)로 균질화하여 마쇄하고 냉동 상태로 보관한 후 대조구로 사용하였다. 사과껍질분말 시료는 다음과 같이 3가지 방법으로 준비하였다. 사과껍질 동결건조 분말시료는 원물시료를 -80°C 에서 동결 후, 동결건조기를 이용하여 건조 후, 분쇄기로 분쇄하였다. 열풍건조 분말시료의 경우 해동된 사과껍질을 65°C 에서 1일간 건조하여 분쇄기로 분쇄한 후 사용하였다. 초미세분말시료는 원물사과껍질을 액체질소로 동결 후, 동결초미립자분쇄기(FPCP-0, FP² Co. Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 $10\ \mu\text{m}$ (1,250 mesh)로 분쇄 가공하여 실험에 사용하였다.

사과껍질 추출물

추출은 시료 5 g에 deionized water, 20, 40, 60, 80, 100% 메탄올을 100 mL 넣고 분쇄기에 90초 동안 균질화한 뒤 여과하여 기능성 분석 시료로 사용하였으며, 3회 반복하여 추출하였다. 불순물로 인해 추출이 어려운 경우 $8,870\times\text{g}$ 에서 15분간 원심분리 후 상층액을 추출하였다. 추출물은 감압농축 후, 각 추출 용매 100 mL에 녹여 냉동 보관하였으며, 총페놀, 총플라보노이드, 및 항산화능을 측정하는데 사용하였다.

총페놀 함량 측정

총페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 방법(Singleton et al., 1999)을 변형하여 측정하였다. 96 well plate (SPL, Pocheon,

Korea)에 시료 $10\ \mu\text{L}$ 와 증류수 $100\ \mu\text{L}$ 를 혼합하고 Folin-Ciocalteu's solution (Sigma, St. Louis, MO, USA) $10\ \mu\text{L}$ 를 넣고 균질화 하여 6분간 반응시켰다. 반응 후 7% Na_2CO_3 (Sigma) $80\ \mu\text{L}$ 를 넣고 균질화 한 후 상온의 암실에서 90분간 반응 시킨 뒤 96 well microplate reader (iMark, Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA)를 이용하여 750 nm에서 3회 반복 측정하였다. 표준물질은 gallic acid (Sigma)를 사용하여 표준곡선을 구하고, 함량은 mg gallic acid equivalent (GAE)/100 g sample로 표기하였다.

총플라보노이드

총플라보노이드 함량은 건강기능식품공전방법을 변형하여 실험하였다(Kim et al., 2005). 96 well plate에 시료 $17\ \mu\text{L}$ 와 증류수 $96\ \mu\text{L}$ 를 혼합한 후 2.5% NaNO_2 (Sigma) $10\ \mu\text{L}$ 를 넣어 균질화하였다. 5분 후, 5% AlCl_3 (Sigma) $10\ \mu\text{L}$ 를 넣고 1 M Na_2CO_3 (Sigma) $67\ \mu\text{L}$ 넣고 균질화 한 후 96 well microplate reader (iMark)를 이용하여 415 nm에서 시료를 3회 반복 측정하였다. 표준물질은 quercetin (Sigma)을 사용하였으며, 함량은 mg quercetin equivalent (QE)/100 g sample로 표기하였다.

항산화 활성 측정

ABTS radical 소거능의 경우, Re et al. (1999)의 방법을 변형하여 실험하였다. PBS용액과 1.0 mM AAPH (2,2'-azobis-(2-amidinopropane)HCl) (Sigma), 2.5 mM ABTS²⁻ (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt) (Sigma)를 혼합하여 70°C 에서 반응 시킨 후, 청녹색으로 발색되면 $0.2\ \mu\text{m}$ PTFE syringe filter (Tokyo Roshi Kaisha Ltd., Tokyo, Japan)로 반응물을 제거한 후 96 well plate에 ABTS²⁻시약과 시료를 37°C 에서 10분 동안 반응시켰다. 흡광도는 96 well microplate reader (iMark)를 이용하여 750 nm에서 3회 반복 측정하였다. 항산화 활성의 표준물질은 vitamin C를 사용하였으며, mg vitamin C equivalent (VCE)/100 g sample로 표기하였다.

DPPH radical 소거능은 Brand-Williams et al. (1995)의 방법을 변형하여 실험하였다. 80% (v/v) 메탄올을 사용하여 0.1 mM DPPH 용액을 제조하였으며, DPPH 용액과 시료를 섞어 30분간 실온 반응하고, 510 nm에서 96 well microplate reader (iMark)를 이용하여 시료를 3회 반복 측정하였다. 항산화 활성의 표준물질은 vitamin C를 사용하였으며, mg vitamin C equivalent (VCE)/100 g sample로 표기하였다.

통계분석

통계분석은 시료와 추출용매 간의 측정된 흡광도 값의 차이를 알아보기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, Tukey's multiple range test를 통하여 유의성을 검

정하였다. SPSS Version 21.0 package program (SPSS INC., Chicago, IL, USA)을 사용하여 통계분석을 실시하였고, 유의 수준은 $p < 0.05$ 이었다.

결과 및 고찰

사과껍질분말의 총페놀 및 총플라보노이드 함량

사과껍질 원물 균질액과 3종의 분말시료 추출액의 총페놀 함량에 대한 결과를 Table 1에 나타냈다. 함량 범위는 72-1,013 mg GAE/100 g sample이었으며, 총페놀 함량이 가장 높았던 용매조건과 시료 형태는 60% 메탄올 추출한 동결건조 분말이었다. 또한 추출용매에 따른 시료의 총페놀 함량을 비교하였을 때 물추출과 20% 메탄올 추출의 경우 열풍건조 사과껍질분말에서 총페놀 함량이 가장 우수하게 측정 되었으며, 40, 60, 80, 100% 메탄올 추출한 경우 동결건조한 사과껍질 분말에서 가장 높은 총페놀 함량을 보였다. 또한 시료별 총페놀 함량이 가장 높은 추출용매 농도는 사과껍질 균질액과 사과껍질 동결건조 시료, 사과껍질 초미세분말의 경우 60% 메탄올이었고, 사과껍질 열풍건조 시료의 경우 40% 메탄올 추출이 가장 높은 총페놀 함량을 보였으나, 60% 메탄올 추출물 결과와는 유의적인 차이가 없었다. 사과에 존재하는 페놀화합물의 대부분은 (-)-epicatechin 중합단위에 oligomer, polymer 형태의 procyanidins가 주를 이룬다. 구체적으로 chlorogenic acid, epicatechin, procyanidin B2, phloretin, quercetin, vitamin C 등이며(Burda et al., 1990; Mayr et al., 1995), 이중 procyanidin은 마쇄하거나 압착하였을 때 세포가 파괴되어 세포벽 성분과 소수성 결합, 수소결합 등을 하는 것으로 알려져 있다(Renard et al., 2001; Le Bourvellec et al., 2004; Park & Kim, 2009). 일반적으로 과일에 포함되어 있는 폴리페놀 성분은 품종이나 숙성시기, 수확시기, 색 등에 따라 매우 다르다고 알려져 있어(Rice-Evans et al., 1997; Díaz-Mula et al., 2009) 같은 품종의 사과를 사용했

더라도 가공방법에 따라 함량에서 차이가 날 수 있다.

총플라보노이드 함량의 경우 89-555 mg QE/100 g sample이었으며, 총플라보노이드 함량이 가장 높은 용매조건과 시료형태는 60% 메탄올로 추출한 사과껍질 초미세분말이었다(Table 2). 추출용매에 따른 총플라보노이드 함량을 비교하였을 때, 물추출의 경우 열풍건조 사과껍질 분말의 총플라보노이드 함량이 가장 높았으며, 20, 40, 60, 80, 100% 메탄올 추출의 경우 초미세분말 사과껍질에서 총플라보노이드 함량이 가장 우수하게 측정되었다. 또한 사과껍질 균질액을 제외한 시료별 총플라보노이드 함량이 가장 높은 용매 조건은 60% 메탄올이었다. 최근 연구에서 식품 내 포함되어 있는 플라보노이드는 인체 내에서 항산화제나 다른 생물학적 활성을 나타내는데 충분한 도움을 줄 수 있다고 보고되었고, 관련성이 입증되어 왔다(Lu et al., 1995; Crespy et al., 2001; Day et al., 2003). Chlorogenic acid는 구조적으로 변하지 않고 소장에 흡수되며(Azuma et al., 2000), epicatechin과 procyanidin B2는 모두 epicatechin으로 변환되어 흡수되는 것으로 알려져 있다(Spencer et al., 2001). 일반적으로 플라보노이드와 이소플라본 유도체는 phloretin, quercetin glucoside처럼 *in vitro*에서 배당체 형태로 존재하며 이로 인해 활성이 낮아지게 되지만, 위장관 내 효소에 의해 당 부분이 제거되면서 체내에 흡수 된다(Crespy et al., 2001; Day et al., 2003). 사과껍질에서 측정된 대부분의 플라보노이드는 많은 연구에서 밝혀진 것과 같이 사과껍질의 대표적인 페놀성 물질인 quercetin인 것으로 생각된다(Lee et al., 2003; Wolfe et al., 2003).

총페놀 함량의 경우 동결건조 사과껍질분말을 60% 메탄올로 추출하였을 때 가장 높게 측정되었고, 총플라보노이드 함량의 경우 초미세 사과껍질분말을 60% 메탄올로 추출 하였을 때 가장 높게 측정되었다. 열풍건조시료의 경우 측정 시 추출용매의 메탄올 농도에 따른 차이가 다른 시료보다 상대적으로 크지 않았다.

Table 1. Total phenolics contents of the extract of an apple cultivar (*Malus domestica* cv. Fuji) peel and the apple peel powder by three different powdering methods

Extraction solvent	Total phenolics contents (mg GAE/100 g sample) ¹⁾			
	Ground apple peel	Freeze-dried apple peel powder	Hot-air dried apple peel powder	Ultrafine particle apple peel powder
Water	72±2 ^{2)klD}	504±11 ^{EB}	728±9 ^{CA}	400±6 ^{DC}
20% MeOH	90±1 ^{CD}	692±3 ^{DB}	816±24 ^{BA}	522±6 ^{CC}
40% MeOH	94±2 ^{BD}	931±19 ^{BA}	881±5 ^{AB}	696±25 ^{BC}
60% MeOH	112±4 ^{AD}	1,013±29 ^{AA}	877±34 ^{AB}	772±29 ^{AC}
80% MeOH	98±4 ^{BCD}	907±6 ^{BA}	789±15 ^{BB}	646±32 ^{BC}
100% MeOH	75±2 ^{DD}	750±24 ^{CA}	657±14 ^{DB}	573±31 ^{CC}

¹⁾ Total phenolics contents are expressed as mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g sample.

²⁾ Data are expressed as a mean±SD ($n=3$).

^{A-C}Mean in a column by different superscripts are significant different at $p < 0.05$ by Tukey's multiple range test.

^{A-D}Mean in a row by different superscripts are significant different at $p < 0.05$ by Tukey's multiple range test.

Table 2. Total flavonoids contents of the extract of an apple cultivar (*Malus domestica* cv. Fuji) peel and the apple peel powder by three different powdering methods

Extraction solvent	Total flavonoids contents (mg QE/100 g sample) ¹⁾			
	Ground apple peel	Freeze-dried apple peel powder	Hot-air dried apple peel powder	Ultrafine particle apple peel powder
Water	90±5 ^{2)3)nsC}	276±5 ^{dB}	320±14 ^{BA}	284±8 ^{EB}
20% MeOH	89±3 ^{nsB}	351±8 ^{CA}	340±9 ^{abA}	361±28 ^{dA}
40% MeOH	99±5 ^{nsD}	462±6 ^{BB}	354±8 ^{acC}	496±22 ^{BA}
60% MeOH	101±10 ^{nsD}	504±7 ^{AB}	358±10 ^{acC}	555±22 ^{AA}
80% MeOH	102±5 ^{nsD}	465±9 ^{BB}	328±16 ^{abC}	503±18 ^{abA}
100% MeOH	90±3 ^{nsD}	370±19 ^{cB}	247±12 ^{cC}	416±8 ^{CA}

¹⁾ Total flavonoids contents are expressed as mg quercetin equivalents (QE)/100 g sample.

²⁾ Data are expressed as a mean±SD ($n=3$).

³⁾ NS, not significantly.

^{a-c}Mean in a column by different superscripts are significant different at $p<0.05$ by Tukey's multiple range test.

^{A-D}Mean in a row by different superscripts are significant different at $p<0.05$ by Tukey's multiple range test.

Table 3. ABTS radical scavenging capacity of the extract of an apple cultivar (*Malus domestica* cv. Fuji) peel and the apple peel powder by three different powdering methods

Extraction solvent	ABTS radical scavenging capacity (mg VCE/100 g sample) ¹⁾			
	Ground apple peel	Freeze-dried apple peel powder	Hot-air dried apple peel powder	Ultrafine particle apple peel powder
Water	87±5 ^{2)BD}	532±11 ^{CB}	614±43 ^{AA}	461±22 ^{DC}
20% MeOH	309±17 ^{AC}	746±72 ^{BA}	627±40 ^{AB}	687±7 ^{cAB}
40% MeOH	323±29 ^{AD}	1,060±39 ^{AB}	710±43 ^{AC}	1,190±51 ^{AA}
60% MeOH	117±9 ^{BD}	1,158±80 ^{AB}	687±38 ^{AC}	1,293±43 ^{AA}
80% MeOH	109±9 ^{BD}	1,096±66 ^{AB}	684±45 ^{AC}	1,241±7 ^{AA}
100% MeOH	85±4 ^{BC}	833±39 ^{BA}	497±16 ^{BB}	946±79 ^{BA}

¹⁾ ABTS radical scavenging activities are expressed as mg vitamin C equivalents (VCE)/100 g sample.

²⁾ Data are expressed as a mean±SD ($n=3$).

^{a-d}Mean in a column by different superscripts are significant different at $p<0.05$ by Tukey's multiple range test.

^{A-D}Mean in a row by different superscripts are significant different at $p<0.05$ by Tukey's multiple range test.

사과껍질분말의 항산화능 비교

사과껍질분말의 항산화 활성을 알아보기 위해 ABTS radical scavenging activity (ABTS)와 DPPH radical scavenging activity (DPPH)를 측정하였다. ABTS radical 소거능의 경우 85-1,293 mg VCE/100 g sample 범위로 측정되었으며, 항산화능이 가장 높았던 용매조건과 시료형태는 60% 메탄올 추출한 초미세 사과껍질분말이었다(Table 3). 추출용매에 따른 항산화능을 비교하였을 때, 물 추출의 경우 열풍 건조한 사과껍질분말에서 가장 활성이 높았고, 20% 메탄올로 추출한 경우에는 동결건조 사과껍질분말에서 활성이 가장 높았다. 시료 별 항산화능이 가장 높은 용매조건은 원물과 열풍건조 사과껍질분말에서 40% 메탄올 추출의 항산화능이 가장 높았고, 동결건조 사과껍질분말과 초미세 사과껍질분말의 경우 60% 메탄올 추출에서 항산화능이 가장 높았다.

DPPH radical 소거능 측정 결과 91-868 mg VCE/100 g sample 이었으며, 항산화 활성이 가장 좋은 용매조건과 시료형태는 60% 메탄올로 추출한 사과껍질 동결건조 분말이었다(Table 4). 추출용매에 따른 항산화 활성을 비교하였을

때, 모든 용매조건에서 동결건조 시료가 항산화능이 높은 것으로 나타났고, 시료 별 항산화능이 가장 높은 용매조건은 원물과 동결건조 사과껍질분말 시료는 60% 메탄올 추출의 항산화능이 높았고, 열풍건조 사과껍질분말의 경우 20% 메탄올 추출에서 가장 높은 항산화능을 보였으며, 초미세 사과껍질분말의 경우 40% 메탄올 추출에서 높은 항산화능을 보였다.

DPPH와 ABTS radical 소거능 페놀성 물질이 free radical을 얼마나 소거할 수 있는지를 통해 항산화능을 추측할 수 있다. 대부분의 페놀성 물질이 free radical을 효과적으로 제거하는 것으로 알려져 있지만 페놀성 물질은 기질에 따라 선택적으로 작용하기 때문에 항산화 활성을 확인할 때 DPPH와 ABTS를 모두 측정하여 비교하는 것이 일반적이다(Lee et al., 2012). 본 연구에서도 DPPH와 ABTS radical 소거능 실험을 진행한 결과, ABTS 소거능의 경우 초미세 사과껍질분말에서, DPPH 소거능은 동결건조 사과껍질분말에서 높은 항산화 활성이 나와 두 실험 결과가 일치하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이는 Wang et al. (1988)이 한 연구와 같이 페놀성 물질의 종류에 따라 기질특이성에 의해

Table 4. DPPH radical scavenging capacity of the extract of an apple cultivar (*Malus domestica* cv. Fuji) peel and the apple peel powder by three different powdering methods

Extraction solvent	DPPH radical scavenging capacity (mg VCE/100 g sample) ¹⁾			
	Ground apple peel	Freeze-dried apple peel powder	Hot-air dried apple peel powder	Ultrafine particle apple peel powder
Water	95±4 ^{2bc}	513±20 ^{EA}	502±6 ^{abB}	267±60 ^{dB}
20% MeOH	110±2 ^{ad}	647±15 ^{BA}	526±14 ^{AB}	317±1 ^{bcD}
40% MeOH	112±3 ^{ad}	836±12 ^{BA}	453±11 ^{bcB}	426±1 ^{aC}
60% MeOH	117±1 ^{ad}	868±34 ^{BA}	510±13 ^{abB}	366±13 ^{bc}
80% MeOH	112±5 ^{ad}	841±33 ^{BA}	497±49 ^{abB}	338±49 ^{bcC}
100% MeOH	91±3 ^{bd}	673±28 ^{BA}	407±20 ^{cb}	308±20 ^{cdC}

¹⁾ DPPH radical scavenging activities are expressed as mg vitamin C equivalents (VCE)/100 g sample.

²⁾ Data are expressed as a mean±SD ($n=3$).

^{a-d}Mean in a column by different superscripts are significant different at $p<0.05$ by Tukey's multiple range test.

^{A-D}Mean in a row by different superscripts are significant different at $p<0.05$ by Tukey's multiple range test.

ABTS radical은 제거할 수 있으나, DPPH radical은 소거하지 못 할 수 있으므로 반대되는 결과가 도출될 수 있다는 연구 결과와 일치하였다. 또한 Lee et al. (2012)이 과일껍질의 기능성을 비교한 연구에서 같은 종의 키위껍질이라도 껍질의 색깔에 따라 항산화능이 다르게 나타난 것을 볼 때, 품종이 같더라도 숙성정도나 껍질의 색, 가공방법, 저장방법 등에 따라 항산화능이 차이가 날 수 있다는 것을 시사한다. 그러나 본 실험에서는 같은 품종 및 숙성 정도, 껍질의 색, 저장법의 차이가 없더라도 원료 자체를 어떻게 가공하는지에 따라 항산화능이 달라지며, 이는 식품의 기능성이 식품 원료의 가공방법과 관련이 있다는 것을 보여주고 있다.

동결건조법은 실생활에 널리 사용되고 있는 건조법인 열풍건조보다 원료에 대한 물리적, 화학적 특성과 고유 성분을 손실 없이 유지할 수 있는 것으로 알려져 있다(Krokida et al., 2001). 최근 용해성과 흡수성을 높게 한 초미세분말 가공기술의 경우 동결건조와 같이 고유 특성과 성분을 유지할 수 있어 기능성식품소재나 식의약 소재 등 고부가가치 소재를 생산하는데 유용하다(Heo et al., 2010). 따라서, 본 실험에서 총페놀 함량과 총 플라보노이드 함량, 항산화 활성을 통한 기능성을 확인하였을 때, 동결건조 사과껍질 분말과 초미세 사과껍질분말이 다른 가공법과 비교하여 각 기능성 실험별로 높은 함량이나 항산화능을 보였다. 따라서 기능성이 향상된 식품 소재 개발을 위해 분말가공법, 건조법 및 추출방식 등을 고려한 가장 효율적인 가공방법을 소재 개발 단계에서 고려해야 할 것으로 생각된다.

요 약

과일에는 플라보노이드, 탄닌, 카테킨 등의 폴리페놀 뿐만 아니라 여러 항산화능과 관련된 성분을 많이 함유하고 있으며, 과일의 껍질에는 과육부분보다 2-9배 이상 높은 각종 기능성 성분이 많은 것으로 보고되고 있다. 국내에서 사과가 가장 많이 생산되는 과일 중 하나이며, 사과껍질

에는 quercetin의 함량이 높은 것으로 알려져 있다. 하지만 국내에서 사과껍질의 항산화능을 분석하거나 이를 이용하여 식품에 적용한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 국내산 사과껍질 원물 균질액, 동결건조분말, 열풍건조분말 및 초미세분말의 총페놀함량(TPC), 총플라보노이드함량(TFC), ABTS radical 소거능(ABTS), DPPH radical 소거능(DPPH)을 비교하고, 이를 통해 사과껍질을 식품 소재로 활용 시 최적 분말화 및 추출조건을 알아보려고 했다. TPC는 동결건조분말, 열풍건조분말의 추출물에서 가장 높게 나타났고, TFC는 초미세분말 추출물에서 가장 높게 나타났다. ABTS 라디칼 소거능은 초미세분말에서, DPPH 라디칼 소거능은 동결건조분말에서 가장 높게 측정되었다. 이상의 결과를 통해, 동일 품종의 사과껍질을 사용한 경우 원물의 가공방법 및 추출조건에 따라 각 기능성의 차이가 나타났다. 이 중, 초미세분말에서 TFC와 ABTS 라디칼 소거능이 가장 높은 결과를 나타낸 것을 볼 때, 분말화 방법 등 가공조건의 차이에 의해 개발된 중간소재의 여러 기능성에서 차이가 날 수 있다는 결과를 얻었다. 따라서 본 연구를 통해 기능성이 향상된 분말화된 식품중간소재 개발 시 여러 가공조건에 의해 영향을 받을 수 있으므로, 이를 고려하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발사업(과제번호 315063-3) 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

References

- Alvarez-Parrilla E, Laura A, Torres-Rivas F, Rodrigo-Garcia J, González-Aguilar GA. 2005. Complexation of apple antioxidants: chlorogenic acid, quercetin and rutin by β -cyclodextrin (β -CD). J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. 53: 121-129.

- Amiot MJ, Tacchini M, Aubert SY, Oleszek W. 1995. Influence of cultivar, maturity stage, and storage conditions on phenolic composition and enzymic browning of pear fruits. *J. Agric. Food Chem.* 43: 1132-1137.
- Azuma K, Ippoushi K, Nakayama M, Ito H, Higashio H, Terao J. 2000. Absorption of chlorogenic acid and caffeic acid in rats after oral administration. *J. Agric. Food Chem.* 48: 5496-5500.
- Boyer J, Liu RH. 2004. Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutr. J.* 3: 5.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30.
- Burda S, Oleszek W, Lee CY. 1990. Phenolic compounds and their changes in apples during maturation and cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 38: 945-948.
- Crespy V, Morand C, Besson C, Manach C, Démigné C, Rémésy C. 2001. Comparison of the intestinal absorption of quercetin, phloretin and their glucosides in rats. *J. Nutr.* 131: 2109-2114.
- Díaz-Mula H, Zapata P, Guillén F, Martínez-Romero D, Castillo S, Serrano M, Valero D. 2009. Changes in hydrophilic and lipophilic antioxidant activity and related bioactive compounds during postharvest storage of yellow and purple plum cultivars. *Postharvest Biol. Technol.* 51: 354-363.
- Day AJ, Gee JM, DuPont MS, Johnson IT, Williamson G. 2003. Absorption of quercetin-3-glucoside and quercetin-4'-glucoside in the rat small intestine: the role of lactase phlorizin hydrolase and the sodium-dependent glucose transporter. *Biochem. Pharmacol.* 65: 1199-1206.
- Eberhardt MV, Chang YL, Liu RH. 2000. Nutrition: Antioxidant activity of fresh apples. *Nature* 405: 903.
- Heo JC, Lee KY, Lee BG, Choi SY, Lee SH, Lee SH. 2010. Anti-allergic activities of ultra-fine powder from persimmon. *Korean J. Food Preserv.* 17: 145-150.
- Heras-Ramírez ME, Quintero-Ramos A, Camacho-Dávila AA, Barnard J, Talamás-Abbud R, Torres-Muñoz JV, Salas-Muñoz E. 2012. Effect of blanching and drying temperature on polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace. *Food Bioproc. Tech.* 5: 2201-2210.
- Kim MJ, Kim YG, Kim HS, Cheong C, Jang KH, Kang SA. 2014. Effects of antioxidant activities in ethanol extract of apple peel, grape peel, and sweet potato peel as natural antioxidant. *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* 15: 3766-3773.
- Kim SH, Park I. 2013. Comparison of antioxidant activities of various meat broths served with oriental noodles. *Korean J. Food Nutr.* 26: 150-153.
- Kim SR, Ha TY, Song HN, Kim YS, Park YK. 2005. Comparison of nutritional composition and antioxidative activity for kabocha squash and pumpkin. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 171-177.
- Krokida MK, Maroulis ZB, Saravacos GD. 2001. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 36: 53-59.
- Le Bourvellec C, Guyot S, Renard C. 2004. Non-covalent interaction between procyanidins and apple cell wall material: Part I. Effect of some environmental parameters. *Biochim. Biophys. Acta* 1672: 192-202.
- Lee KW, Kim YJ, Kim DO, Lee HJ, Lee CY. 2003. Major phenolics in apple and their contribution to the total antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 51: 6516-6520.
- Lee MY, Yoo MS, Whang YJ, Jin YJ, Hong MH, Pyo YH. 2012. Vitamin C, total polyphenol, flavonoid contents and antioxidant capacity of several fruit peels. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 540-544.
- Lu LJW, Grady JJ, Marshall MV, Ramanujam VS, Anderson KE. 1995. Altered time course of urinary daidzein and genistein excretion during chronic soya diet in healthy male subjects. *Nutr. Cancer* 24: 311-323.
- Mayr U, Treutter D, Santos-Buelga C, Bauer H, Feucht W. 1995. Developmental changes in the phenol concentrations of 'Golden Delicious' apple fruits and leaves. *Phytochemistry* 38: 1151-1155.
- Muller RH, Keck CM. 2004. Challenges and solutions for the delivery of biotech drugs—a review of drug nanocrystal technology and lipid nanoparticles. *J. Biotechnol.* 113: 151-170.
- Park JY, Ryu HU, Shin HS, Lim HK, Son IC, Kim DI, Jeong HS, Lee JS. 2012. Effects of CuEDTA and FeEDTA foliar spray on antioxidant activities of apple. *J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1305-1309.
- Park MK, Kim CH. 2009. Extraction of polyphenols from apple peel using cellulase and pectinase and estimation of antioxidant activity. *J. Korean. Soc. Food Sci. Nutr.* 38: 535-540.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26: 1231-1237.
- Renard CM, Baron A, Guyot S, Drilleau JF. 2001. Interactions between apple cell walls and native apple polyphenols: quantification and some consequences. *Int. J. Biol. Macromol.* 29: 115-125.
- Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci.* 2: 152-159.
- Schieber A, Hilt P, Streker P, Endreß HU, Rentschler C, Carle R. 2003. A new process for the combined recovery of pectin and phenolic compounds from apple pomace. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 4: 99-107.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. 1999. [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.
- Spencer JP, Schroeter H, Shenoy B, Srail SKS, Debnam ES, Rice-Evans C. 2001. Epicatechin is the primary bioavailable form of the procyanidin dimers B2 and B5 after transfer across the small intestine. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 285: 588-593.
- Stracke BA, Rüfer CE, Bub A, Seifert S, Weibel FP, Kunz C, Watzl B. 2010. No effect of the farming system (organic/conventional) on the bioavailability of apple (*Malus domestica* Bork., cultivar Golden Delicious) polyphenols in healthy men: a comparative study. *Eur. J. Nutr.* 49: 301-310.
- Tsao R, Yang R, Young JC, Zhu H. 2003. Polyphenolic profiles in eight apple cultivars using high-performance liquid chromatography (HPLC). *J. Agric. Food Chem.* 51: 6347-6353.
- Wolfe K, Wu X, Liu RH. 2003. Antioxidant activity of apple peels. *J. Agric. Food Chem.* 51: 609-614.
- Zhang M, Zhang C-j, Shrestha S. 2005. Study on the preparation technology of superfine ground powder of *Agroclybe chaxingu* Huang. *J. Food Eng.* 67: 333-337.