

Enhances Antioxidant Effect of Purple Sweet Potato by Roasting

Kye Man Cho and Ok Soo Joo[†]

Department of Food Science, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 660-758, Korea

볶음처리에 의한 자색고구마의 항산화 증진 효과

조계만 · 주옥수[†]

경남과학기술대학교 식품과학부

Abstract

Purple sweet potato (PSP, *Ipomoea batatas*) has various biological effects including antidiabetic, anti-inflammatory, and antioxidant activities. In this study, the antioxidant activity of PSP after roasting were compared using DPPH, ABTS, and FRAP assays. In addition, the total phenolics and flavonoid contents, Maillard reaction products, and phenolic acid contents were measured to identify the factors that changed PSP's antioxidant activity due to roasting. The roasted PSP exhibited significantly higher antioxidant activity than unroasted PSP. In particular, the PSP roasted at 200 °C for 10 min showed the highest antioxidant activity among all the PSPs that were roasted under different conditions. The total phenolic and flavonoid contents, Maillard reaction products and phenolic acid contents markedly increased, corresponding to the general increase in antioxidant activities after roasting. These results suggest that roasted PSP extracts are potential source of natural antioxidants that may be used in certain food applications.

Key words : Purple sweet potato, roasting, antioxidant activity, Maillard reaction products, phenolic acids

서 론

최근 급속한 사회변화와 고도성장으로 인해 현대인은 과다한 스트레스와 건강에 부정적인 환경에 노출되어 있다. 생체 내에서 과산화수소(H₂O₂), superoxide anion, hydroxyl radical 등을 포함하는 활성산소종(reactive oxygen species; ROS)과 같은 유해활성산소의 형성은 호기적 대사 과정에서 불가피하게 발생하여 독성을 유발하는데 이 독성은 산소로부터 발생한 반응성이 매우 높은 대사성 물질인 ROS에 기인한다(1). ROS는 노화, 암, 심혈관계 질환, 퇴행성 신경질환 및 염증 등의 세포와 대사의 손상과 관련이 있다. '자유 라디칼'은 보통 생체 내에서 항산화 물질에 의해 제거되거나 억제된다. 자연적으로 생성되는 페놀성 화합물인 flavonoid, tannin, anthocyanin, vitamic C, carotenoid 류, 및 glutathione 등과 같은 천연 항산화 물질은 생체 내에서 노화를 억제시키거나, 동맥경화증, 염증, 퇴행성 질환 및 암을 예방하는데 아주 효과적으로 보고되어 있다(1-3).

Phenolic acids는 식물, 곡물, 과일 및 채소 속에 널리 분포되어 있는 이차대사산물로서 항암효과, 항산화, 항동맥경화 및 항당뇨 효과 등의 다양한 효능을 가지고 있다(1,4). 식품에 있어 열처리 가공은 일반적으로 저장성을 연장하고 식품의 품질을 향상시키기 위하여 사용되고 있지만 열처리 가공 중 영양소의 파괴 및 생리활성 물질의 손실 등의 문제점들을 가지고 있다. 또한 열처리 과정은 물질적인 특성이나 향뿐만 아니라 화학적 구성 등에 많은 변화를 준다. 한편 일부 연구자들에 의해 열처리할 경우 다양한 이화학적 변화에 의해 생리활성물질이 증가한다는 연구결과가 발표되면서 이와 관련된 많은 연구가 진행되고 있다(1,5-13). 볶음처리는 건식 열처리 방법으로 볶음처리의 조건에 따라 phenolic 화합물의 감소하거나 중합체 구조로 변화되는 것으로 보고되고 있다(1,6,12). 부가적으로, Maillard 반응 산물(Maillard reaction products, MRPs)에 의해 볶음처리 동안 항산화 활성, 향미 성분 및 갈색색소가 증가하는 것으로 보고되고 있다(12,14).

자색고구마(*Ipomoea batatas*)는 일본 Kyushu 지방에서 자생하던 '산천자'라고 알려진 식물을 국내에 도입하여 재배한 것으로 새로운 천연 식용 색소 자원으로 주목받고

[†]Corresponding author. E-mail : osjoo@gntech.ac.kr
Phone : 82-55-751-3273, Fax : 82-55-751-3279

있다. 자색고구마는 표피층뿐만 아니라 육질 전체가 진한 자색을 띠고 있는데, 이는 수용성 anthocyanins 색소를 다량 함유하고 있고(15-19) 전분과 단백질 이외에도 비타민, 무기질, 식이섬유 및 polyphenol 등이 함유되어 있다. 따라서 고품질의 기능성 식품이나 건강보조제품의 원료로서 활용이 기대되고 있으며 자색고구마를 이용한 요구르트 제조(20-21), 민속주 제조(22), 설기떡 제조(23), 제빵 제조(24), 동치미 냉면육수(25) 및 팽화과자(빵튀기) 제조(26) 등에 관한 연구가 보고되어 있다.

따라서 본 연구에서는 자색고구마를 이용한 차 개발의 기초자료 제공 일환으로 볶음처리에 따른 항산화 효과와 총 phenolics, 총 flavonoids, 갈변물질(Maillard reaction products) 및 phytochemicals 함량을 평가하여 보고하는 바이다.

재료 및 방법

재료 및 시약

자색고구마는 2011년 함양군 함양읍 소재 함양농협가공사업소에서 제공받아 사용하였으며, Folin-Cicalteu phenol, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) diammonium salt (ABTs), 2,4,6-tri(2-pyridyl-1,3,5-triazine (TPTZ)는 Sigma-Aldrich사(Saint Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 9 종의 phenolic acid 표준물질인 gallic acid 및 protocatechuic acid, tannin acid, *p*-hydroxybenzoic acid, vanillic acid, chlorogenic acid, caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid와 3 종의 flavanol 표준물질인 rutin 및 quercetin, kaempferol 역시 Sigma-Aldrich사에서 구입하였다. HPLC 분석을 위해서 사용한 methanol, water 및 acetic acid는 J T Baker사(Phillipsburg, NJ, USA)에서 구입하였다.

볶음처리

자색고구마는 흐르는 수돗물에 3회 세척하여 물기를 제거하고 정사각형 모양으로 1 × 1 cm 두께로 절단하였다. 절단된 자색고구마를 50±3°C에서 3일간 건조하였다. 건조된 시료를 1차적으로 160°C, 180°C 및 200°C에서 10분간 볶음 하였고 2차적으로 200°C에서 5분, 10분 및 15분 볶음 하였다. 볶음하기 전 볶음기를 160°C, 180°C 및 200°C로 설정하고 10분간 평형상태가 되도록 유지시켜준 후 시료 200 g를 커피 볶음기(Gene Café CBR-101A, Genesis Co, Gyeonggi, Korea)에서 볶음 처리하였다. 건조 원료와 볶음 처리된 자색고구마를 분쇄기로 분쇄한 후 -20°C에 보관하면서 사용하였다.

추출물 제조

건조 원료와 볶음 처리된 자색고구마로부터 phytochemicals

추출은 Choi 등(1)의 방법을 약간 변형하여 추출하였다. 즉 시료를 10 g를 정확히 칭량한 후 80% 에탄올 10배 분량(100 mL)을 가하고 300 rpm에서 12시간 추출하였다. 추출액을 90 mm 여과지에 여과한 후 여과액 일부는 0.45 μm-membrane filter (Dismic-25CS, Toyoroshikaisha, Ltd, Tokyo, Japan)로 다시 여과하여 총 phenolics 및 총 flavonoids, phytochemicals 함량 분석에 사용하였고 나머지 여과액은 감압농축기를 이용하여 농축하고 -70°C에서 동결한 후 동결건조기를 이용하여 동결하여 건조 분말을 얻었다. 여기에 추출용매인 80% 에탄올에 다시 녹여 500, 250, 100, 50, 25 및 10 μg/mL 농도로 제조하여 항산화 활성을 검정하였다.

DPPH 라디칼 소거활성

추출물의 DPPH 라디칼 소거활성은 Blois(27)의 방법을 약간 변형하여 측정하였다. 즉, 1.5×10⁻⁴ mM 용액 0.8 mL과 10~500 μg/mL 농도의 추출물 0.2 mL을 가하고 10초간 vortex로 균질화시키고 실온에서 30분 방치한 후 분광광도계(Spectronic 2D, Thermo Electron Co, Marietta, OH, USA)를 이용하여 525 nm에서 흡광도를 측정하였다. 음성 대조구 실험은 시료 대신에 에탄올을 0.2 mL를 취하여 실험하였으며, DPPH 라디칼 소거활성은 실험구와 음성 대조구의 흡광도를 구하여 백분율(%)로 표시하였다.

ABTs 라디칼 소거활성

7 mM ABTs 용액과 2.45 mM potassium persulfate을 1 : 1(v/v)로 섞고, 실온의 어두운 곳에서 12~16시간을 반응시켜 ABTs 라디칼(ABTs⁺)을 생성시켰다. ABTs는 732 nm에서 흡광도가 0.7±0.02가 되도록 에탄올로 희석하여 사용하였다. 에탄올로 희석된 ABTs 용액 0.9 mL과 추출물 0.1 mL를 섞고, 정확히 3분 후 분광광도계(Spectronic 2D)를 이용하여 730 nm에서 흡광도를 측정하였다. 음성 대조구 실험은 시료 대신에 에탄올을 0.1 mL를 취하여 실험하였으며, ABTs 라디칼 소거활성은 실험구와 음성 대조구의 흡광도를 구하여 백분율(%)로 표시하였다(1).

Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP)

FRAP 분석은 Choi(1)의 방법을 응용하여 추출물의 항산화력을 측정하였다. 300 mM sodium acetate buffer(pH 3.6)와 40 mM HCl로 용해시킨 10 mM TPTZ 용액 그리고 20 mM FeCl₃ 용액을 사용하였다. 미리 제조된 sodium acetate buffer, TPTZ 용액 및 FeCl₃ 용액을 10 : 1 : 1(v/v/v)의 비율로 혼합하여 37°C에서 15분간 반응시켜 FRAP 시약을 준비하였다. FRAP 시약 1.5 mL를 추출물 50 μL에 혼합하여 섞고, 37°C에서 15분간 반응시키고 분광광도계(Spectronic 2D)를 사용하여 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 음성 대조구 실험은 시료 대신에 에탄올 50 μL를 취하여 실험하였으며,

FRAP 활성은 흡광도 값으로 표시하였다.

총 phenolics 함량

총 phenolics 함량은 Folin-Denis법(28)으로 측정하였다. 100배 희석한 추출물 500 μ L를 시험관에 분주한 다음 25% Na_2CO_3 용액 500 μ L를 첨가하여 3분간 정치시켰다. 다시 2N Folin-Ciocalteu phenol 시약 250 μ L 첨가하여 혼합한 다음 상온에서 1시간 동안 정치하여 발색시켰다. 발색된 청색을 분광광도계(Spectronic 2D)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 phenolics 함량은 gallic acid를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 구하였고 mg/g으로 표시하였다.

총 flavonoids 함량

총 flavonoid 함량은 10배 희석한 추출물 100 μ L를 시험관에 분주하고 diethylene glycol 2 mL, 1 N NaOH 20 μ L를 가한 다음 37°C에서 1시간 동안 방치하여 발색시킨 후 분광광도계(Spectronic 2D)를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 flavonoid 함량은 rutin를 이용하여 작성한 표준곡선으로부터 구하였고 mg/g으로 표시하였다(29).

갈변물질 함량

갈변물질(Maillard reaction products)의 함량은 비효소적 갈변도 측정 방법을 이용하였다. 각 분쇄시료를 정확하게 1 g을 칭량하고 3차 증류수를 100배 분량(100 mL)을 가하여 300 rpm에서 1시간 추출한 후 추출액을 원심분리하고 그 상등액을 0.45 μ m 필터로 여과하여 그 여과액을 분광광도계(Spectronic 2D)를 사용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였고 각 실험은 3회 반복 수행하여 평균값으로 나타내었다(12).

Phytochemical 함량

Phytochemicals 분석은 Choi 등(1)의 방법에 준하여 HPLC (Agilent 1200 series)로 분석하였다. 10배 추출한 시료를 0.45 μ m-membrane 필터(Dismic-25CS, Toyoroshikaisha Ltd, Tokyo, Japan)로 여과하여 사용하였고 분석 컬럼(XTerraTM RP C₈, 4.6×250 mm, 5 μ m, Waters Co)에 전처리한 시료 20 μ L를 주입하고 30°C에서 0-100%까지 B 용매 gradient로 0.5% acetic acid(이동상 용매 A)와 100% 메탄올(이동상 용매 B)을 이용하여 1.0 mL/min으로 이동시키면서 60분간 수행하였고 UV 검출기(Agilent 1200 series)의 270 및 325 nm에서 측정하였다.

통계분석

모든 실험은 3회 반복하여 측정하였고 결과는 SPSS 12.0 package를 사용하여 분산 분석을 수행하여 평균±표준편차로 나타내었다. 각 시료의 분석 결과에 대한 유의성 검정은

분산분석을 한 후 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

결과 및 고찰

볶음처리에 의한 항산화 활성

식물의 항산화 활성은 다양한 방법을 통하여 측정할 수 있다. 자색고구마 건조 원료와 볶음 처리된 자색고구마의 항산화 활성은 3 가지의 다른 방법인 DPPH 라디칼 소거활성, ABTS 라디칼 소거 활성 및 FRAP 분석을 통하여 평가하였다.

DPPH 라디칼 소거활성은 항산화 활성을 평가하는 가장 흔한 방법이다. 자색고구마 건조 원료와 볶음 처리된 자색고구마 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성은 Fig. 1과 같다. 추출물의 농도가 감소함에 따라 DPPH 라디칼 소거활성이 감소하는 경향을 보였다. 볶음 온도에 따른 DPPH 라디칼 소거활성은 볶음 처리 온도가 증가할수록 DPPH 라디칼 소거활성은 유의적으로 증가하였으며, 농도 50 μ g/mL에서 200°C 10분 볶음 처리의 경우 67.99%로 DPPH 라디칼 소거활성은 가장 높았고 그 다음으로 180°C 10분 처리가 54.62%, 160°C 10분 처리가 51.82%, 원료가 41.39%로 각각 나타났다(Fig. 1A). 볶음 온도를 200°C로 고정하고 볶음 시

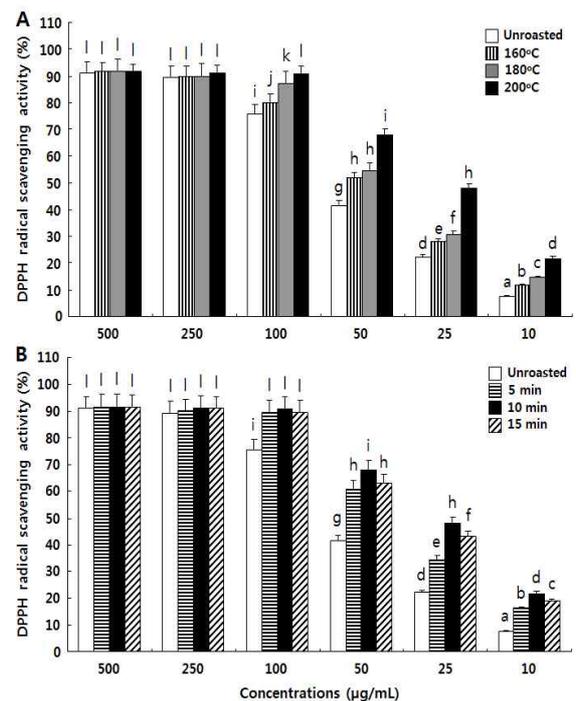


Fig. 1. Effect of the roasting on DPPH radical scavenging activities. Effect of roasting PSP at 160, 180, and 200°C for 10 min (A) and at 200°C for 5, 10, and 15 min (B).

Bars indicate the mean±SD of the three replication (n=3). Different superscripts indicate significant difference among groups at $p < 0.05$.

간에 따른 DPPH 라디칼 활성을 살펴본 결과 10분 처리 시 가장 높게 나타났다. 농도 50 $\mu\text{g/mL}$ 에서 200°C 5분 처리는 61.05% 이었으며, 200°C 15분 처리는 63.13% 이었다 (Fig. 1B).

ABTs 라디칼 소거활성을 측정된 결과 DPPH 라디칼 소거활성과 유사하게 처리 농도가 감소함에 따라 활성은 감소하였고 200°C 10분 처리 시 가장 높은 활성을 나타내었다 (Fig. 2). ABTs 라디칼 소거활성은 볶음 온도가 증가함에 따라 유의적으로 활성이 증가하였다. 농도 10 $\mu\text{g/mL}$ 에서 200°C 10분 볶음 처리 시 65.19%로 ABTS 라디칼 소거활성은 가장 높았고 원료가 41.88%로 가장 낮았다. 한편 160°C 10분은 47.48% 이었으며, 180°C 10분은 52.81%로 나타났다 (Fig. 2A). 볶음 온도를 200°C로 고정하고 볶음 시간에 따른 ABTs 라디칼 활성 역시 DPPH 라디칼 소거활성과 동일하게 10분 처리 시 가장 높게 나타났다(Fig. 2B).

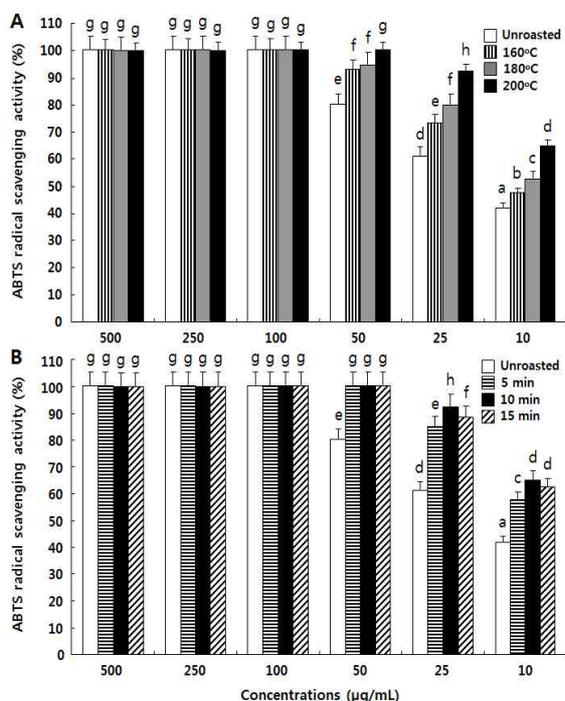


Fig. 2. Effect of the roasting on ABTs radical scavenging activities. Effect of roasting PSP at 160, 180, and 200°C for 10 min (A) and at 200°C for 5, 10, and 15 min (B). Bars indicate the mean \pm SD of the three replication ($n=3$).

Different superscripts indicate significant difference among groups at $p<0.05$.

FRAP 분석은 colored ferrous TPTZ 복합체에 의해 ferric ion이 ferrous로 전환되어지는 과정을 분석함으로써 시료 내의 항산화력을 측정하는 방법으로 낮은 pH에서 환원체에 의해 Fe^{3+} -TPTZ 복합체가 Fe^{2+} -TPTZ으로 환원되는 원리에 기초하여 대부분의 항산화제가 환원력을 가지고 있다는 점에 착안하여 고안되어진 방법이다(1,32). 원료와 볶음 처리된 시료 추출물의 FRAP 활성을 살펴본 결과 Fig. 3과

같다. 볶음 온도에 따른 FRAP 라디칼 소거활성은 볶음 처리 온도가 증가할수록 유의적으로 활성이 증가하였으며, 농도 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 200°C 10분 볶음 처리의 경우 1.450로 활성은 가장 높았고 그 다음으로 180°C 10분 처리가 1.038 및 160°C 10분 처리가 0.868, 원료가 0.734로 각각 나타났다(Fig. 3A). 볶음 시간(온도 200°C 고정)에 따른 FRAP 활성을 살펴본 결과 10분 처리 시 가장 높게 나타났으며, 농도 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 200°C 5분 처리는 1,297 이었고 200°C 15분 처리는 1.348 이었다(Fig. 3B).

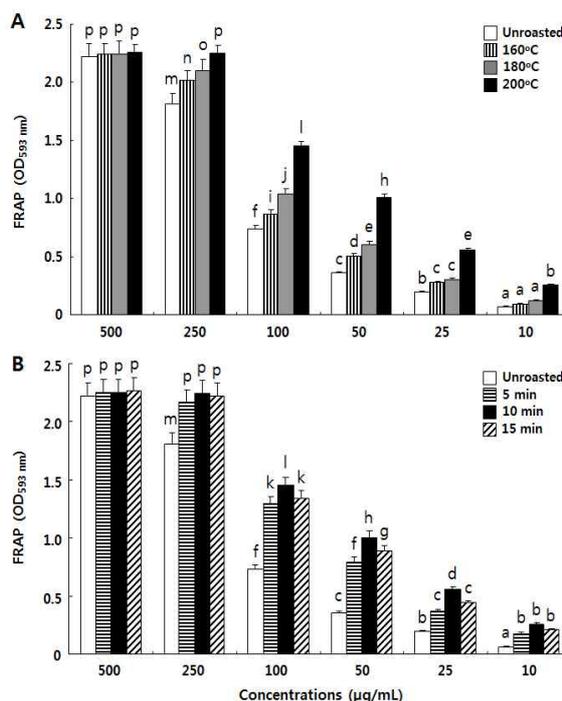


Fig. 3. Effect of the roasting on FRAP assays. Effect of roasting PSP at 160, 180, and 200°C for 10 min (A) and at 200°C for 5, 10, and 15 min (B). Bars indicate the mean \pm SD of the three replication ($n=3$).

Different superscripts indicate significant difference among groups at $p<0.05$.

자색고구마 건조 원료보다 볶음 처리된 자색고구마가 높은 항산화 활성을 나타냈었으며, 볶음 온도가 증가할 수 항산화 활성이 증가하였다(Fig. 1~3). 이 결과로 부터 자색고구마 건조 원료 및 볶음 처리된 자색고구마의 80% 에탄올 추출물은 항산화 물질이 잠재적으로 함유하고 있는 것으로 판단되었다. 특히 200°C 10분 볶음 처리의 자색고구마는 원료뿐만 아니라 다른 조건들보다 높은 항산화 활성을 나타내었다. 이전에 몇몇의 연구자들에 의해서 다양한 식용 작물들에 대한 볶음 처리 시 원료보다 항산화 활성이 증가한다고 보고하였다. 한편 최근 Kim 등(12) 및 Choi 등(1)은 각각 검정콩과 여주의 볶음 처리 후 항산화 효과가 증가한다고 보고하였으며, 특히 볶음 처리 온도가 높을수록 온도에 비례하여 항산화 활성이 증가함을 보고하여 본 연구

결과와 일치하였다.

볶음처리에 의한 총 phenolics 및 flavonoids 함량

Polyphenol성 화합물은 식물의 이차대사산물로 생체 내에서 다양한 생리 활성을 나타내는 것으로 알려지면서 천연물로부터 항산화 물질을 추출하려는 연구가 여러 분야에서 이루어지고 있다(1-3).

자색고구마 건조 원료와 볶음 처리된 자색고구마 80%에탄올 추출물의 총 phenolics 함량은 Fig. 4와 같았다. 볶음 온도가 증가할수록 총 phenolics 함량은 유의적으로 증가하여 200°C 10분 볶음 처리가 6.99±0.37 mg GAE/g d.w.으로 가장 함량이 높았으며, 다음으로 180°C 10분 처리가 6.21±0.16 mg GAE/g d.w., 160°C 10분 처리가 5.81±0.45 mg GAE/g d.w., 원료가 4.91±0.27 mg GAE/g d.w.로 나타났다(Fig. 4A). 볶음 온도를 200°C로 고정하고 볶음 시간에 따른 총 phenolics 함량을 살펴본 결과 10분 처리 시 가장 높게 나타났다. 한편 200°C 5분 처리는 6.49±0.24 mg GAE/g d.w. 이었으며, 200°C 15분 처리는 6.58±0.11 mg GAE/g d.w. 이었다(Fig. 4B).

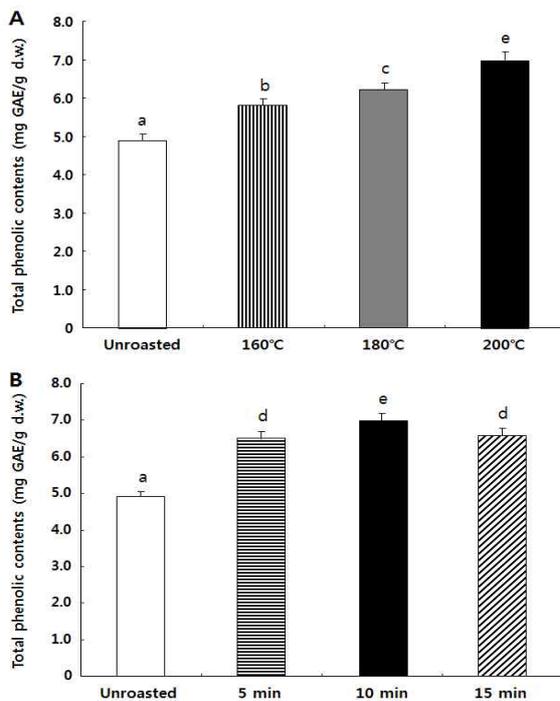


Fig. 4. Effect of the roasting on total phenolic contents. Effect of roasting PSP at 160, 180, and 200°C for 10 min (A) and at 200°C for 5, 10, and 15 min (B). Bars indicate the mean±SD of the three replication ($n=3$).

Different superscripts indicate significant difference among groups at $p<0.05$.

Hwang 등(9)은 열처리 배의 총 polyphenol 함량은 무처리 시 0.23 mg/g이었지만 열처리 조건에 따라 0.62 mg/g에서 3.34 mg/g으로 증가하였다고 보고하였으며, Kim 등(5)은

5가지 과채류(멜론, 사과, 토마토, 참외 및 수박)의 총 polyphenol 함량은 모두 과채류에서 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하였으며, 참외의 경우 무처리에서 0.40 mg/g에서 150°C 처리 시 2.80 mg/g로 증가하였다. 한편, 여주(1) 및 검정콩(12)을 고온에서 볶음처리 하였을 때 열처리 시간이 증가할수록 총 polyphenol 함량이 증가하는 연구로 미루어 볼 때 열처리에 따른 총 polyphenol 함량의 증가는 단백질과 결합된 고분자의 polyphenol 화합물이 열처리에 의해 이들 phenolics 화합물의 결합이 파괴 또는 새로운 phenolics 화합물이 생성된 것으로 추측되었고 200°C 15분 처리 시 총 phenolic 함량이 감소한 것은 탄화에 의한 것으로 추정되었다.

총 flavonoids 함량 역시 총 phenolics 함량과 동일하게 볶음 온도가 증가함에 따라 유의적으로 함량이 증가하였다(Fig. 5). 200°C 10분 볶음 처리 시 0.57±0.12 mg RE/g d.w.로 가장 함량이 높았고 원료가 0.44±0.01 mg RE/g d.w.로 가장 낮았다. 한편 160°C 10분은 0.48±0.09 mg RE/g d.w. 이었으며, 180°C 10분은 0.53±0.03 mg RE/g d.w.로 나타났다(Fig. 5A). 볶음 온도를 200°C로 고정하고 볶음 시간에 따른 총 flavonoid 함량 역시 총 phenolics 함량과 동일하게 10분 처리 시 가장 높게 나타났다. 한편 200°C 5분 처리는 0.54±0.12 mg GAE/g d.w. 이었으며, 200°C 15분 처리는 0.55±0.01 mg GAE/g d.w. 이었다(Fig. 5B).

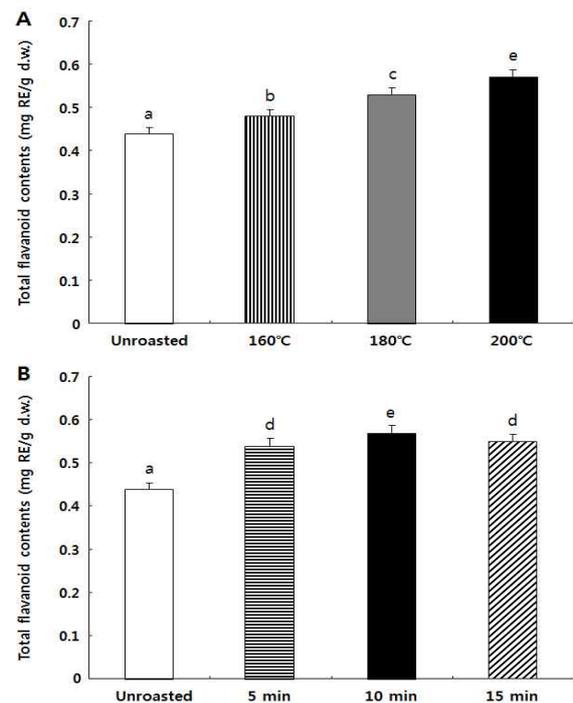


Fig. 5. Effect of the roasting on total flavanoid contents. Effect of roasting PSP at 160, 180, and 200°C for 10 min (A) and at 200°C for 5, 10, and 15 min (B). Bars indicate the mean±SD of the three replication ($n=3$).

Different superscripts indicate significant difference among groups at $p<0.05$.

Kim 등(5)은 5가지 과채류(멜론, 사과, 토마토, 참외 및 수박)의 총 flavonoid 함량은 모든 과채류에서 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하였으며, 무처리 멜론에서 4.54 µg/g 이었던 것이 150°C에서는 148.80 µg/g로 무처리보다 약 37 배 증가하였다. Yang 등(8)의 연구에 의하면 열처리 조건에 따른 인삼의 총 flavonoids 함량에서 무처리는 0.39 mg/g 이었지만 열처리 조건에 따라 0.42 mg/g에서 최고 4.75 mg/g 까지 증가하였다는 연구결과와 Kwon 등(10)의 생마늘의 총 flavonoids 함량은 32.06 µg/g 이었으나, 150°C에서 1시간 열처리 시 532.73 µg/g로 증가하였다고 보고하였다. 총 phenolics 함량의 증가에서와 마찬가지로 열처리에 의해 flavonoid 화합물들이 증가한 것으로 판단되었다.

볶음처리에 의한 갈변물질

볶음조건에 따른 비효소적 갈변도의 변화를 측정할 결과 Table 1과 같았다. 조건별 갈변도는 볶음 온도와 시간이 길어질수록 유의적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 Hong 등(31) 및 Kim 등(12)의 치커리 및 검정콩에 대한 보고에서 볶음 과정 중 갈변도의 변화와 일치하는 결과였다.

한편 강한 열처리의 결과로서 형성되는 갈변물질은 30 kDa 이하에서 발견되고 이들은 일반적으로 강력한 항산화 성질을 지니고 있다(12,14). 우리는 420 nm에서 비효소적 갈변도 측정법을 이용하여 볶음 처리 조건별 자색고구마의 갈변물질을 측정하였다. DPPH, ABTs 및 FRAP 분석에 따르면, 볶음 처리 시 자색고구마의 항산화 활성이 증가하였다. 본 연구에서는 10분간 볶음 처리 시 160°C에서 200°C로 항산화 활성이 급격히 증가함을 확인할 수 있었으며, 비효소적 갈변도 역시 동일한 경향을 보였다. 그러나 200°C의 일정한 온도에서 볶음 시간에 따른 ABTs 및 DPPH, FRAP 분석 결과는 상이하였다. 자색고구마의 볶음 시간에 따른 항산화 활성은 5분과 10분 처리에서는 증가하였으나, 이후 15분 볶음 처리에서는 증가하지 않았으나, 비효소적 갈

변도는 볶음 처리 시간이 증가할수록 증가하였다. 본 연구 결과와 유사한 결과들을 Nicoli 등(32), Del Castillo 등(33) 및 Kim 등(12)이 보고하였다. 이들의 제안에 따르면, 갈변 과정의 중간단계에서 형성된 갈변물질이 항산화 활성이 가장 높으며, 이 후에는 높은 항산화 활성을 지닌 화합물이 감소하거나 항산화 활성이 낮은 물질형태로 전환되는 것으로 추정하였다. 본 연구에서 자색고구마 볶음 처리 시 200°C에서 10분간 처리 조건이 중간단계로 판단되었다.

볶음처리 phytochemicals 함량

Phytochemical들은 식물에 널리 분포되어 있으며, 이들은 다양한 생리 활성으로 인해 많은 관심의 대상이 되고 있다(1).

자색고구마 건조 원료와 볶은 자색고구마의 80% 에탄올 추출물로부터 phytochemicals 분석은 HPLC-DAD를 이용하였다. 9 종의 phytochemicals 함량은 Table 2와 같았다. 자색고구마 건조 원료에서는 caffeic acid가 572.94±3.89 mg/kg d.w.로 가장 많이 함유되어 있으며, 그 다음으로는 vanillic acid가 225.16±3.22 mg/kg d.w., protocatechonic acid가 180.73±2.64 mg/kg d.w., chlorogenic acid가 81.41±0.45 mg/kg d.w., *p*-hydroxybenzoic acid가 70.21±0.47 mg/kg d.w., *p*-coumaric acid가 20.06±0.23 mg/kg d.w. 및 sinapic acid가 18.17±0.12 mg/kg d.w. 이었다. 한편 *p*-hydroxybenzoic, vanillic, caffeic, chlorogenic, *p*-coumaric 및 sinapic acids는 볶음 온도가 증가할수록 감소하였으나, protocatechonic acid는 증가하였다. 특히 gallic와 ferulic acids는 볶음 처리에 의해 급격히 증가하였으며, gallic acid는 볶음 온도와 시간에 비례하여 함량이 증가하였다. 항산화 활성이 가장 높은 200°C에서 10분간 볶음 처리 자색고구마의 경우 gallic acid가 1004.62±2.64 mg/kg d.w.로 가장 함량이 높았고 caffeic acid가 528.75±3.57 mg/kg d.w., protocatechonic acid가 296.75±4.11 mg/kg d.w., *p*-hydroxybenzoic acid가 87.21±1.40 mg/kg d.w., vanillic acid가 63.45±1.85 mg/kg d.w., ferulic acid가 54.90±1.16 mg/kg d.w., chlorogenic acid가 32.95±1.28 mg/kg d.w., *p*-coumaric acid가 24.74±0.13 mg/kg d.w. 및 sinapic acid가 13.36±0.16 mg/kg d.w. 이었다.

식물체를 열처리할 경우 식물체의 세포막과 세포벽은 붕괴되고 ester 결합으로서 이루어진 결합형 polyphenol 성분이 유리형으로 전환된다(1,6,12). 자색고구마의 총 phenolics 등의 함량 증가는 볶음 처리에 따른 유리형 phenolics 함유량의 증가에 의한 것으로 추측되며, 이로 인해 항산화 활성 역시 증가한 것으로 판단되었다. Lee 등(18)은 자색고구마에 함유된 주요 phenolics를 분석한 결과 chlorogenic, gentisic 및 caffeic acids라고 보고하였다. 한편 이전에 옥수수에 대한 볶음 처리 연구(11)에 의하면 가용화된 ferulic acid와 총 항산화 활성이 증가되지만 중요한 것은 가용화는 180°C 이상에서만 일어난다고 보고 하였으며,

Table 1. Effect of the roasting on non-enzymatic browning degrees

| Roasted PSP | | Absorbance at 420 nm ¹⁾ |
|------------------|------------|------------------------------------|
| Temperature (°C) | Time (min) | Optical density |
| Unroasted | | 0.627±0.03 ^a |
| 160 | 10 | 0.865±0.02 ^b |
| 180 | 10 | 1.244±0.05 ^c |
| 200 | 10 | 1.648±0.05 ^d |
| 200 | 5 | 1.235±0.02 ^c |
| 200 | 10 | 1.648±0.03 ^c |
| 200 | 15 | 1.821±0.04 ^f |

¹⁾Values indicate the mean SD of the three replications (n=3). Different superscripts indicate significant difference among groups at p<0.05.

Table 2. Distributions of phytochemical contents of unroasted and roasted PSP

| Roasted PSP Temperature (°C) | Time (min) | Phytochemical contents (mg/kg d.w.) ¹⁾ | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|---|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | Gallic | Protocatech- -hunic | <i>p</i> -hydroxyl- -benzoic | Vanillic | Caffeic | Chlorogenic | <i>p</i> -Coumaric | Sinapic | Ferulic |
| Unroasted | | tr ²⁾ | 180.73±2.64 ^h | 70.21±0.47 ^f | 225.16±3.22 ^h | 572.94±3.89 ^j | 81.41±0.45 ^f | 20.06±0.23 ^b | 18.17±0.12 ^b | tr |
| 160 | 10 | 35.32±0.16 ^d | 223.25±3.99 ^h | 76.36±0.56 ^f | 147.83±2.64 | 549.04±3.55 ^j | 67.99±0.38 ^f | 24.43±0.14 ^c | 14.45±0.09 ^a | 49.86±0.20 ^c |
| 180 | 10 | 229.29±1.43 ^h | 231.63±1.85 ^h | 86.13±0.44 ^e | 94.01±2.01 ^e | 523.01±3.01 ^j | 35.95±0.24 ^d | 25.29±0.18 ^c | 13.98±0.15 ^a | 54.36±0.22 ^e |
| 200 | 10 | 1004.62±2.64 ^k | 296.75±4.11 ⁱ | 87.21±0.40 ^e | 63.45±1.85 ^f | 528.75±3.57 ^j | 32.95±0.28 ^d | 24.74±0.13 ^c | 13.36±0.06 ^a | 54.90±0.16 ^c |
| 200 | 5 | 536.92±0.22 ^j | 243.23±1.85 ^h | 80.68±0.28 ^f | 87.47±1.64 ^e | 503.81±2.64 ^j | 33.83±0.18 ^d | 24.03±0.10 ^c | 14.02±0.11 ^a | 54.95±0.26 ^c |
| 200 | 10 | 1004.62±2.64 ^k | 296.75±4.11 ⁱ | 87.21±0.40 ^e | 63.45±1.85 ^f | 528.75±3.57 ^j | 32.95±0.28 ^d | 24.74±0.13 ^c | 13.36±0.06 ^a | 54.90±0.16 ^c |
| 200 | 15 | 1020.99±2.58 ^k | 280.82±4.37 ⁱ | 79.77±0.21 ^f | 43.82±1.64 ^e | 562.99±2.57 ^j | 28.27±0.20 ^d | 24.69±0.12 ^c | tr | 53.21±0.18 ^c |

¹⁾Values indicate the mean SD of the three replications (n=3). Different superscripts indicate significant difference among groups at $p < 0.05$.

²⁾tr, trace < 0.05 mg/kg

Kim 등(12)는 검정콩의 항산화 활성의 증가로부터 가용화된 chlorogenic acid의 증가량을 보고했지만 중요한 것은 가용화는 250°C 이상에서 일어난다고 보고하였다. 최근에 Choi 등(1)은 여주의 부위별 볶음 처리 시 200°C와 250°C에서 볶음처리 되지 않은 시료보다 gallic, protocatechonic, *p*-hydroxybenzoic, vanillic, caffeic, chlorogenic, *p*-coumaric 및 ferulic acids는 증가한다고 보고하였다. 그러나 본 연구에서는 vanillic, caffeic 및 chlorogenic acids는 감소하였으나, gallic, protocatechonic, *p*-hydroxybenzoic, *p*-coumaric 및 ferulic acids는 증가하였다. Gallic acid 및 그 유도체들인 phenolic acid는 항산화, 항돌연변이, 항암 효과 등이 뛰어난 것으로 보고되고 있다(1). 자색고구마의 볶음 처리 시 항산화 활성 증가는 이들 phenolic acid와 갈변물질의 증가에 의한 것으로 추정되었다.

본 연구에서는 자색고구마의 볶음 처리 조건별 *in vitro*상의 항산화 활성을 비롯하여 총 phenolic와 flavonoid 함량, 갈변물질 및 phenolic acid 함량을 조사하였다. 볶음 처리 후 총 phenolics와 flavonoids 함량, 갈변물질 및 phenolic acids 함량이 현저하게 증가하였고 이에 상응하여 항산화 활성 역시 증가하였다. 따라서 본 연구의 결과로 볶음 자색고구마는 식품에서 잠재적인 천연 항산화제로 사용할 수 있을 것으로 추정되었다.

요 약

자색고구마는 항당뇨, 항염증, 및 항산화 활성 등의 다양한 생리활성 효과가 있다. 본 연구에서는 자색고구마의 볶음 처리 후 DPPH, ABTs 및 FRAP를 분석하여 항산화 활성을 비교하였다. 부가적으로 우리는 볶음 처리에 의한 자색고구마의 항산화 활성 변화 요인을 확인하기 위해 총 phenolics와 flavonoids 함량, 갈변물질 및 phenolic acids 함량을 측정하였다. 볶음 자색고구마는 볶지 않은 자색고구

마보다 상당히 높은 항산화 활성을 나타내었다. 특히, 200°C에서 10분간 볶음처리 한 자색고구마는 다른 처리 조건들보다 높은 항산화 활성을 나타내었다. 볶음 처리 후 총 phenolic와 flavonoid 함량, 갈변물질 및 phenolic acids 함량이 현저하게 증가하였고, 이에 상응하여 항산화 활성이 증가하였다. 이 결과로부터 볶음 처리한 자색고구마는 식품에서 잠재적인 천연 항산화제로 사용할 수 있을 것으로 판단되었다.

감사의 글

이 논문은 2011년 국립경남과학기술대학교의 기성회 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Choi JS, Kim HY, Seo WT, Lee JH, Cho KM (2012) Roasting enhances antioxidant effect of bitter melon (*Momordica charantia* L.) increasing in flavan-3-ol and phenolic acid contents. Food Sci Biotechnol, 21, 19-26
2. Shin SM, Mok SY, Lee SH, Cho KM, Cho EJ, Kim HY (2011) Protective effect of bitter melon (*Momordica charantia*) against oxidative stress. Cancer Prev Res, 16, 86-92
3. Joung YM, Park SJ, Lee KY, Lee JY, Suh JK, Hwang SY, Park KE, Kang MH (2007) Antioxidative and antimicrobial activities of *Lilium* species extracts prepared from different aerial parts. Korean J Food Sci Technol, 39, 452-457
4. Li D, Li X, Ding X (2010) Composition and antioxidative properties of the flavonoid-rich fractions from tartary

- buckwheat grains. Food Sci Biotechnol, 19, 711-716
5. Kim HY, Woo KS, Hwang IG, Lee YR, Jeong HS (2008) Effects of heat treatments on the antioxidant activities of fruits and vegetables. Korean J Food Sci Technol, 40, 166-170
 6. Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH (2002) Thermal processing enhance the nutritional values of tomatoes by increasing total antioxidant activity. J Agric Food Chem, 50, 3010-3014
 7. Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J (2006) Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. Food Chem, 99, 381-387
 8. Yang SJ, Woo KS, Yoo JS, Kang TS, Noh YH, Lee JS, Jeong HS (2006) Change of Korean ginseng components with high temperature and pressure treatment. Korean J Food Sci Technol, 38, 521-525
 9. Hwang IG, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Yang MH, Jeong HS (2006) Change of physicochemical characteristics of Korean pear (*Pyrus pyrifolia* Nskai) juice with heat treatment condition. Korean J Food Sci Technol, 38, 342-347
 10. Kwon OC, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Hong JT, Jeong HS (2006) Physicochemical characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) on the high temperature and pressure treatment. Korean J Food Sci Technol, 38, 331-336
 11. Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH (2002) Processed sweet corn has a higher antioxidant activity. J Agric Food Chem, 50, 4959-4964
 12. Kim HG, Kim GW, Oh H, Yoo SY, Kim YO, Oh MS (2011) Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (*Glycine max* L. Merrill). LWT-Food Sci Technol, 44, 992-998
 13. Nicoli MC, Anese M, Parpinel M (1999) Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. Trends Food Sci Technol, 10, 94-100
 14. Manzocco L, Calligaris S, Mastrocola D, Nicoli MC, Lericri CR (2000) Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. Trends Food Sci Technol, 11, 340-346
 15. Zhang ZF, Fan SH, Zheng YL, Lu J, Wu DM, Shan Q, Hu B (2009) Purple sweet potato color attenuates oxidative stress and inflammatory response induced by D-galactose in mouse liver. Food Chem Toxicol, 47, 496-501
 16. Fan G, Han Y, Gu Z, Gu F (2008) Composition and colour stability of anthocyanins extracted from fermented purple sweet potato culture. Food Chem, 41, 1412-1416
 17. Kim SJ, Rhim JW, Lee LS, Lee JS (1996) Extraction and characteristics of purple sweet potato pigment. Korean J Food Sci Technol, 29, 9-14
 18. Lee JS, Ahn YS, Kim HS, Chung MN, Boo HO (2007) Proximate composition and minerals, phenolics, anthocyanins pigment characteristics on the parts of sweet potato. Korean J Intal Agric, 19, 196-204
 19. Lee LS, Kim SJ, Rhim JW (2000) Analysis of anthocyanin pigments from purple-fleshed sweet potato (Jami). J Korean Soc Food Sci Nutr, 29, 555-590
 20. Chun SH, Lee SU, Shin YS, Lee KS, Ru IH (2000) Preparation of yogurt from milk added with purple sweet potato. Korean J Food Nutr, 13, 71-77
 21. Jung GT, Ju IO (1997) Studies on the preparation of yogurt from milk added purple sweet potato powder. Korean J Food Nutr, 10, 458-461
 22. Han KH, Lee JC, Lee GS, Kim JH, Lee JS (2002) Manufacture and physiological functionality of Korean traditional liquor by using purple-fleshed sweet potato. Korean J Food Sci Technol, 34, 673-677
 23. Ahn GJ (2010) Quality characteristics of sulgidduk prepared with amount of purple sweet-potato powder. Korean J Cul Res, 16, 127-136
 24. Kim SY, Ryu CH (1997) Effect of certain additives on bread-making quality of wheat-purple sweet potato flours. Korean J Soc Food Sci, 13, 492-499
 25. Seo WT, Kim HG, Lee JS, Cho KM (2011) Making of *dongchimi naengmyeun* broth which has enhanced antioxidant activity using purple sweet potato. Korean J Microbiol, 47, 143-150
 26. Cheon SH, Hwang SJ, Eun JB (2012) Quality characteristics of puffed snacks (*ppeongtuigi*) with purple sweet potato flours using different puffing conditions. Korean J Food Technol, 44, 28-33
 27. Blois MS (1954) Antioxidant determination by the of a stable free radical. Nature, 26, 1199-1204
 28. Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolic with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. Am J Enol Viticult, 16, 144-158
 29. Jia Z, Tang M, Wu J (1999) The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. Food Chem, 64, 555-559
 30. Kwak JH, Choi GN, Park JH, Kim JH, Jeong HR, Jeong CH, Heo HJ. (2010) Antioxidant and neuronal cell protective effect of purple sweet potato extract. J Agric Life Sci, 44, 57-66

31. Hong MJ, Lee GD, Kim HG, Kwon JH (1998) Changes in browning characteristics of chicory roots by roasting processes. *J Korean Soc Food Sci Nutr*, 27, 591-595
32. Nicoli MC, Anese M, Manzocco L, Lericci CR (1997) Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. *LWT-Food Sci Technol*, 30, 292-297
33. Del Catillo MD, Ames JM, Gordon MH. (2002) Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *J Agric Food Chem*, 50, 3698-3703

(접수 2012년 6월 13일 수정 2012년 6월 25일 채택 2012년 10월 5일)