

조리된 브로콜리의 항산화 효과 및 Sulforaphane 함량 분석

김지영¹ · 박상현² · 이기택^{1*}

¹충남대학교 식품공학과, ²한국원자력연구원 정읍방사선과학연구소

Sulforaphane Content and Antioxidative Effect of Cooked Broccoli

Ji-Young Kim¹, Sang-Hyun Park² and Ki-Teak Lee^{1*}

¹Dept. of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Radiation Research Center for Biotechnology, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongseup 580-185, Korea

Abstract

Antioxidative activities, total phenolic compounds and the sulforaphane contents of cooked broccoli extracts were studied. Total phenolic compounds were determined to be 0.96 mg/g(flower) and 0.76 mg/g(stem) in fresh broccoli extracts. The total phenolic compounds of cooked broccoli extracts showed 0.92 (1 min), 0.79 (3 min), 0.67 (10 min) mg/g when a boiling process was used and 1.27 (1 min) mg/g when a steaming process was used. In the DPPH assay, the steam process showed the highest free radical scavenging capacities. Sulforaphane has been of increasing interest in the nutraceutical and pharmaceutical industries due to its anti-cancer effect. Sulforaphane was isolated from fresh and boiled, steamed broccoli using dichloromethane as an extract solvent. The sulforaphane contents of fresh broccoli were higher in the flower (14.78 mg/kg) than in the stem (6.16 mg/kg). The sulforaphane content dramatically decreased after the boiling (100±2°C) or steaming (100±2°C) processes were used.

Key words : Broccoli, total phenol, DPPH, sulforaphane.

서론

국민 평균 소득 증가 및 고령화 인구의 증가에 따른 현대인의 건강에 대한 관심이 늘어나고 삶의 질에 대한 인식 변화와 더불어 노화 억제에 영향을 미치는 기능성 식품과 폴리페놀류와 같은 천연 항산화 물질에 대한 관심이 급증하고 있다. 식품 중의 페놀 화합물은 다양한 구조와 분자량을 가지고 있으며, 특히 phenolic hydroxyl기는 단백질 등의 거대분자들과 결합하는 성질이 있어 자유라디칼 소거 능력뿐만 아니라 활성산소 및 질소종의 반응을 억제하는 다양한 생리작용과 효능을 가진다(Park & Kim 1992). 이러한 이유로 천연 항산화 물질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 천연식물의 추출물은 약리적 효능과 더불어 항산화 작용을 하는 생리 활성 물질이 들어있어 유용한 연구 재료가 되고 있다(Ody P 1995).

Sulforaphane은 양배추, 브로콜리, 콜리플라워, 케일, 아루굴라(arugula), 콜라드(collards, 케일의 변종), 콜라비(kohlrabi), 겨자, 순무(turnip), 적무(red radish), 물냉이(watercress) 등의 십자화과 채소에 많이 함유되어 있고(Kim *et al* 1997),

isothiocyanate의 화학 구조를 갖는 물질로서 강력한 항산화 효과가 있는 것으로 알려진 glucosinolate가 소화 과정 중 장내 세균에 의해 분비되는 myrosinase에 의해 가수 분해되어 생성된다(Kjaer A 1960). Sulforaphane은 지난 1992년 미국 존스 홉킨스대학의 폴 텔러리에 의해 강력한 항산화 효과를 갖는 것으로 알려졌고(Shapiro *et al* 1998), sulforaphane에 의한 항산화 효소의 발현 유도는 산화적 손상에 의한 유전자 변형을 막아준다고 알려져 있다. 또한, 위암 발생의 주요한 인자로 알려져 있는 헬리코박터 파이로리균의 활성을 억제하고 동물 실험에서 발암물질에 의해 유발된 위암의 생성을 저해한다고 보고되어 있다(Whitry & Bjeldanes 1987). 강력한 항암 효과를 가짐과 동시에 역학적 조사를 포함한 다양한 선행 연구에서 androgen 비의존적으로 성장하는 전립선 암 세포의 증식을 억제하는데 효과가 있었다는 연구가 발표된 후 항암 및 암 예방 기능성 소재로서 많은 관심을 모으고 있다(Petri *et al* 2003, Shang *et al* 2003). 아울러 발암 억제에 중요한 역할을 하는 제2상 효소(phase 2 enzyme)를 활성화하여 발암물질을 세포내에서 제거하는 효과를 가지는 것으로도 알려져 있다(Chiao *et al* 2002, Denis *et al* 2004).

한편, 브로콜리는 sulforaphane 이외에 뛰어난 항산화 작용을 가진 β -carotene, rutin, ascorbic acid, selenium, quercetin,

* Corresponding author : Ki-Teak Lee, Tel : +82-42-821-6729, Fax : +82-42-822-6729, E-mail : ktleee@cnu.ac.kr

glutathione 등이 다량 함유되어 있어, 항암 및 해독 효소의 유도 효과가 크다고 알려져 많은 연구가 활발히 진행되고 있다(Kim *et al* 1999, Sok *et al* 2003). 일반적으로 끓는 물에 조리하여 식용하는 브로콜리는 항산화 능력을 가지고 있으나, 항산화 활성과 관련되는 연구(Larrauri *et al* 1997, Maillard & Berest 1995)에서처럼 가열에 의해 그 활성이 감소할 가능성이 충분히 있기 때문에, 이번 연구에서는 식용으로 사용하는 부위와 사용되지 않는 부위의 항산화 정도를 알아보고, 끓는 물이나 스팀과 같은 조리 가공 조건에 따른 항산화 능력과 sulforaphane 함량의 변화를 비교 연구해 보고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료

브로콜리는 대전 유성구 H마트에서 구입해서 사용하였고, Folin-Ciocalteu's 시약과 DPPH(2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl) 및 sulforaphane 표준 시약은 Sigma-Aldrich Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. Solid-phase extraction(SPE) 실험에 사용된 Supelclean LC-Si SPE Tubes는 Supelco Inc에서 구입하여 사용하였다. 기기분석 시 사용된 모든 용매는 HPLC grade를 사용하였다.

2. 총 페놀 함량과 DPPH 분석을 위한 추출물 제조

브로콜리의 항산화 능력 여부를 판단하기 위하여 시료는 꽃(flower)과 줄기(stem) 부위를 사용하였고, 끓는 물(boiling)과 스팀(steam)조리는 조리 시간을 각각 1, 3 및 10분으로 설정하여 꽃 부위를 사용하여 추출물을 제조하였다. 시료 약 10 g에 25 mL의 핵산을 가하여 35°C에서 1시간 동안 sonication한 후 핵산 층은 버리고, 다시 25 mL 에탄올을 넣고 35°C에서 1 시간 동안 sonication해주어 1차 추출하고 여과지를 이용하여 추출액을 여과해 주었다. 여과 후 남은 추출물에 10 mL의 에탄올을 가하여 동일한 방법으로 2차 추출을 하였고, 최종 추출물의 농도는 10 g/50 mL 에탄올로 설정해 주었다. 분석 시 추출 용액은 0.45 µm membrane filter를 이용하여 여과 후 사용하였다.

3. 총 페놀 함량 분석

브로콜리의 총 페놀 함량 분석은 Folin-Ciocalteu's 시약(Sigma-Aldrich, Inc, St. Louis, USA)이 추출물의 페놀성 화합물에 의해 환원되어 몰리브덴 청색으로 발색하는 원리를 이용하여 측정하였다(Park *et al* 2005). 0.5 mL의 각 조건별 추출물을 5 mL의 증류수에 희석시키고, 0.5 mL의 Folin-Ciocalteu's 시약을 가하여 상온에서 3분간 방치시킨 후, 1 mL의 1 N Na₂CO₃ 용액을 가하고 다시 상온에서 1 시간 동안 incubation

해 주었다. UV-visible spectrophotometer(UV-1700, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 725 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich, Inc.)를 사용하여 $y = 0.2765x - 0.2773$ (y =absorbance, x =gallic acid의 농도, $r^2=0.99$)에서 작성하여 검량하였고, 2회 반복하여 평균한 값으로 나타내었다. 추출물의 총 페놀 함량은 추출물 1 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다.

4. DPPH 라디칼 소거 능력 측정

Test tube에 0.15 mL의 추출 용액(10 g/50 mL 에탄올 용액)과 1.85 mL의 에탄올 및 2.5 mL의 DPPH 에탄올 용액(1.5×10^{-4} M)을 첨가하여 최종 반응 용액이 4.5 mL가 되도록 하였다. 이를 충분히 진탕시키고 상온에서 30분 동안 반응시킨 후 UV-visible spectrophotometer (UV-1700, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정하여 얻어진 결과는 대조구(control; ethanol)에 대한 소거 능력(RSC, %)으로 나타내었다(Jang *et al* 2006). 실험 결과는 분석치의 평균값과 SAS program(statistical analysis system, ver 9.01)의 analysis of variance(ANOVA) 및 duncan's multiple range test를 통해 유의성(95%, $p < 0.05$)을 검정하였다.

$$\text{Free radical scavenging capacity(RSC, \%)} = [(B-A)/B] \times 100$$

A: the absorbance of sample

B: the absorbance of control

5. Sulforaphane 표준 용액의 조제

Sulforaphane 표준시약을 1 mg/mL의 농도가 되도록 제조한 후, 이를 희석하여 최종농도가 각각 5, 10, 25, 50, 100 µL가 되도록 제조하여 HPLC 분석을 통해 표준 곡선(calibration curve)을 얻을 수 있었다. 표준 용액 제조에는 HPLC grade의 acetonitrile을 사용하였다.

6. 시간 및 조리 방법에 따른 시료 제조

브로콜리 중 줄기 부분을 제외한 꽃 부위만을 취하여 약 3 g을 blender를 이용하여 완전히 마쇄한 후, 조리 방법과 시간에 따른 sulforaphane 함량의 변화를 측정하기 위한 시료를 제조하였다. 스팀을 이용한 조리 시, 찜 솥(100±2°C)을 이용하여 가열 조리하여 시료를 제조하였고, 끓는 물(100±2°C)에서 조리할 때에는 물의 양은 250 mL로 설정하였고, 브로콜리가 물속으로 완전히 잠기도록 한 후 조리를 시행하였다. 총 조리 시간은 각각 1, 3 및 10분으로 설정하여 실행하였다.

7. SPE를 이용한 Sulforaphane 추출

시료 약 3 g에 10 mL의 dichloromethane을 가하여 30분 간

상온에서 방치하여 효소 작용이 충분히 이루어지도록 하였다. 원심분리기(2500 rpm, 5분)를 이용하여 층을 분리하고 dichloromethane 층을 취하여(2회 반복 추출) 얻어진 추출물을 sodium sulfate column에 통과시킨 후, 질소가스를 이용하여 용매를 완전히 제거해 주었다. 용매로 추출하여 농축한 시료를 다시 2 mL의 dichloromethane에 녹인 후, dichloromethane으로 미리 활성화 시켜 놓은 LC-Si column에 loading해 주고 3 mL의 ethyl acetate를 주입하여 정제하였다. 정제된 cartridge에 2.5 mL의 메탄올(추출 용매)을 주입하여 추출된 sulforaphane 성분을 0.45 μ m PTFE syringe를 이용하여 여과한 후, HPLC에 10 μ L 주입하여 분석을 실시하였다(Sivakumar *et al* 2007).

8. HPLC에 의한 sulforaphane 함량의 정량 분석

시료 중의 sulforaphane 함량 분석은 SP930D dual pump 및 UV730 검출기(Young-Lin Instrument Co., Ltd)가 장착되어 있는 high performance liquid chromatography(HPLC)와 Nova-Pak[®] C18 60Å 4 μ m (3.9×150 mm I.d., Waters, Milford, Ireland) column을 통해 분석을 시행하였고, 흡광도는 254 nm로 설정해 주었다.

용매 이동상은 기올기 용리로써 acetonitrile:water를 초기 20 : 80(v/v) 비율로 시작하여 10분 동안 60 : 40 비율로 바뀌도록 라인을 흘려준 후 12분에서 15분까지 100 : 0 비율로, 16분부터 다시 초기 상태 20 : 80 비율로 유지하였으며, flow rate는 1 mL/min으로 유지하여 흘려주었다. 분석 시 column oven을 이용해 30°C로 온도를 유지하여 분석을 시행하였고 sample 10 μ L를 주입하여 결과를 얻을 수 있었다(Liang *et al* 2006).

결과 및 고찰

1. 총 페놀 함량

가열 조건에 따른 총 페놀 함량 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 생 브로콜리의 꽃(flower)과 줄기(stem) 부위에서는 총 페놀 함량이 각각 0.96, 0.76 mg/g으로 나타났다. 끓는 물에서 조리한 경우, 시간이 경과할수록 총 페놀 함량이 0.92(1분), 0.79(3분), 0.67(10분) mg/g으로 감소하는 것을 확인할 수 있는데, 이는 끓이는 과정 중에 수용성 페놀 화합물 등이 빠져 나간 것으로 사료된다. 한편, 수증기를 이용하여 스팀 조리한 경우, 생 브로콜리보다 총 페놀 함량이 오히려 1.27 g/mg(1분 스팀)로 증가한 것을 알 수 있는데, 이는 물에 의한 직접적인 영향을 받지 않았기 때문에, 단백질과 결합된 고분자의 페놀성 화합물이 열처리에 의해 저분자의 페놀성 화합물로 전환되었거나, 열처리에 의해 새로운 페놀 화합물이 생성되었기 때문이라 생각된다(Lee *et al* 2006).

Table 1. Total phenol contents (mg/g) of cooked broccoli extracts

		Total phenol compounds (mg/g extract)
Fresh	Flower	0.96±0.19 ¹⁾
	Stem	0.76±0.06
Boiling (flower)	1 min	0.92±0.64
	3 min	0.79±0.36
	10 min	0.67±0.42
Steam (flower)	1 min	1.27±0.03
	3 min	1.08±0.29
	10 min	1.06±0.01

¹⁾ Mean±S.D.(n=2).

2. DPPH 라디칼 소거 능력

항산화 능력을 측정하기 위하여 DPPH(2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼(radical)이 환원되어 활성 라디칼에 전자를 공여함으로써 DPPH 용액 자체의 자색성을 소실하는 특성을 이용하여 결과를 얻을 수 있었다. 전자 공여 작용은 활성 라디칼에 의한 노화 억제 및 지방 산화를 지연시키는 척도로 이용된다(Lee *et al* 2004).

브로콜리의 부위별 그리고 조리 조건별 라디칼 소거 능력을 측정한 결과는 Fig. 1과 Fig. 2에서 확인할 수 있는데, 브로콜리 추출 용액에 DPPH 용액을 첨가하여 30분 동안 반응한 후의 RSC(%) 값을 나타내었다. 생 브로콜리의 RSC(%) 값은 꽃(flower)과 줄기(stem) 부위 각각 15.96와 13.45%로 유의차를 보였으며, 꽃 부위의 라디칼 소거 능력이 높게 측정되었다(Fig. 1). 조리 조건별 RSC(%) 값을 살펴보면(Fig. 2) 끓는 물에서 조리한 경우 RSC값은 조리 시간이 경과할수록 유의차를 보이며 14.91%에서 5.85%까지 능력이 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 스팀 조리했을 때의 RSC 값은 조리 시간별(1, 3 및 10분)로 각각 35.44, 27.72 및 27.66%로 나타남에 따라 1분 조리와 3분 또는 10분 조리 간에 유의차를 보였고, 3분 조리와 10분 조리 간에는 유의차를 보이지 않음을 알 수 있었다. 또한 스팀 조리 시, 생 브로콜리에 비해 최대 2배 이상 라디칼 소거 능력이 높아졌음을 알 수 있었다.

3. HPLC에 의한 Sulforaphane 함량 분석

1) Sulforaphane 표준 곡선

브로콜리 중의 sulforaphane 함량을 측정하기 위하여 sulforaphane 표준시약(Sigma-Aldrich Chemical Co.)을 이용하여 표준 검정곡선(calibration curve)을 작성하였다. Sulforaphane

표준시약을 1 mg/mL의 농도가 되도록 제조한 후, 농도별(5, 10, 25, 50, 100 μ L)로 희석하여 HPLC 측정을 실시하였다. 각기 다른 농도의 표준 용액을 HPLC 분석을 통하여 얻은 검량선의 직선성은 $y=3.547x-3.706$ 이었으며, $r^2=0.99$ 로 나타났다.

2) 생 브로콜리의 Sulforaphane 함량

이전 연구 보고(Kim *et al* 1997)에 따르면 브로콜리의 sulforaphane 함량은 품종별, 지역별로 매우 다양한 차이를 나타낸다고 보고되어 있다. Sulforaphane은 myrosinase의 작용에 의해 생성되기 때문에, 완전히 마쇄한 브로콜리를 상온에 일정시간 방치하여 myrosinase가 glucosinolate에 충분히 작

용하여 sulforaphane이 최대한 생성되도록 하면서도 재분해가 일어나지 않도록 하는 것이 중요한데, Kawakishi & Namiki(1969)의 연구에 의하면, isothiocyanates는 상온에서 방치할 때에 서서히 분해되며, 그 분해 속도는 알킬기의 종류에 따라 다르다고 보고하고 있다. SPE 방법을 통하여 생 브로콜리로부터 sulforaphane을 추출해 낸 함량 결과는 Table 2와 Fig. 3에 나타내었다. 브로콜리를 가식부인 꽃(flower)과 비 가식부인 줄기(stem)로 나누어 sulforaphane 함량을 비교해본 결과, 이번 실험에 사용된 브로콜리 중 sulforaphane 함량이 식용으로 사용되는 꽃 부위에는 14.78 mg/kg, 줄기 부위에는 6.16 mg/kg으로 측정되었다(Table 2). 이에 식용으로 주

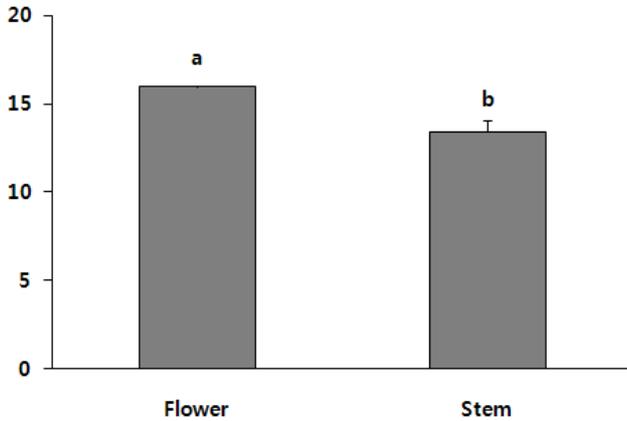


Fig. 1. 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl(DPPH) radical scavenging capacity of fresh broccoli extracts.

^{ab} Means with different letters on bars are significantly different at $p<0.05$.

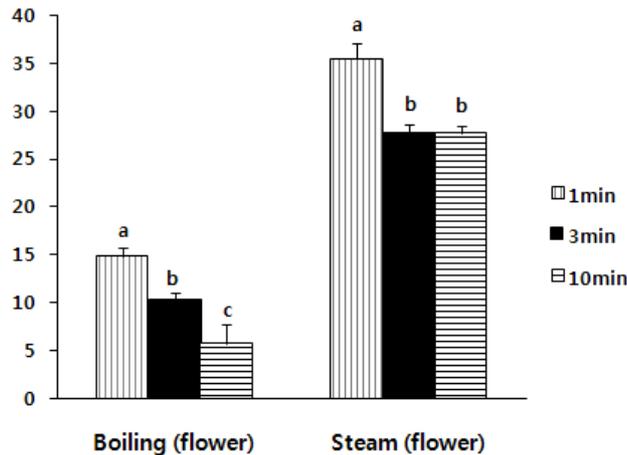


Fig. 2. 2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl(DPPH) radical scavenging capacity of cooked broccoli extracts.

^{a-c} Means with different letters on bars are significantly different at $p<0.05$.

Table 2. Sulforaphane content(mg/kg) of cooked broccoli extracts

	Time (min)	Content (mg/kg)
Fresh	Flower	14.78±0.08
	Stem	6.16±0.25
Boiling (flower)	1	nd ¹⁾
	3	nd
	10	nd
Steam (flower)	1	13.86±0.23 ²⁾
	3	1.74±0.04
	10	nd

¹⁾ nd: Not detect.

²⁾ Mean±S.D.(n=2).

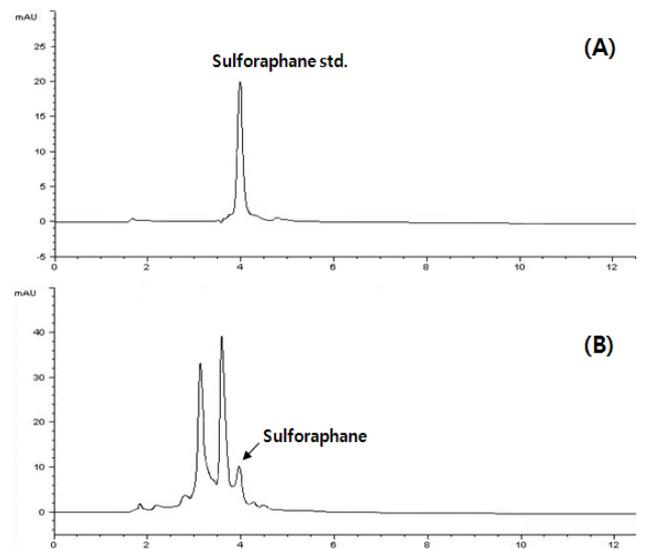


Fig. 3. HPLC chromatogram of sulforaphane standard(A) and fresh broccoli extract(B).

로 사용되는 부위인 꽃 부위뿐만 아니라 줄기 부위에도 sulforaphane이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

3) 가열 조리에 따른 Sulforaphane 함량 변화

브로콜리를 끓는 물($100 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 1분 조리했을 때는 색은 또렷하고 질감의 변화는 거의 없었고, 3분 조리했을 때에도 색은 선명했으나 조직이 약간 물러짐을 확인할 수 있었으며, 10분 조리했을 때에는 색이 좋지 않았고, 조직이 물러져 질감이 좋지 않은 상태를 보였다. 한편, 스팀기를 이용하여 브로콜리를 조리했을 때에는 1분, 3분 조리 모두 색과 질감이 섭취하기에 적당했으나, 10분 조리했을 때는 끓는 물에서 조리했을 때와 마찬가지로 색과 질감 면에서 모두 좋지 않은 상태를 보였다. 따라서 브로콜리를 조리하여 섭취할 때는 최대한 단시간 내에 조리하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

브로콜리를 끓는물($100 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 1, 3 그리고 10분 가열 조리한 결과는 Table 2에서 확인할 수 있듯이 가열이 시작됨과 거의 동시에 sulforaphane 함량이 급격히 감소함을 알 수 있었다. Sulforaphane 즉, isothiocyanate는 myrosinase라는 효소에 의해 브로콜리 내의 glucinolate가 가수분해되어 생성되는 것인데(Kjaer 1960, Kim & Lee 1989), 가열조리할 때 끓는 물속에 브로콜리를 완전히 잠기게 하여 실험을 실행하였는데, 이로 인해 myrosinase라는 효소가 불활성 됨에 따라 sulforaphane이 충분히 생성되지 못하였거나 상온 방치 중 생성되었던 sulforaphane 마저 분해되어 버린 것으로 사료된다.

한편, 스팀을 이용하여 조리한 브로콜리의 sulforaphane 함량은 Table 2에서 확인할 수 있다. 스팀을 이용하여 1분 동안 조리했을 때의 sulforaphane 함량은 13.86 mg/kg으로, 조리하기 전의 함량(14.78mg/kg)에 비하여 약간 감소한 것을 확인할 수 있었고, 3분 동안 조리한 경우 1.74 mg/kg으로 그 함량이 급격히 감소한 것을 알 수 있었다. 또한, 10분 스팀 조리한 결과 sulforaphane이 검출되지 않았음을 알 수 있었는데, 이는 장시간 고온에서 조리를 하였기 때문에 sulforaphane이 분해되었거나, sulforaphane을 생성하는 효소(myrosinase)의 불활성에 기인한 것으로 생각되어진다.

요약 및 결론

본 연구에서는 식용으로 사용하는 부위와 사용되지 않는 부위의 항산화 정도를 알아보고, 끓는 물이나 스팀과 같은 조리가공 조건에 따른 항산화 능력과 sulforaphane 함량의 변화를 비교 연구해 보고자 하였다.

생 브로콜리의 꽃(flower)과 줄기(stem) 부위에서는 총 페놀 함량이 각각 0.96, 0.76 mg/g으로 나타났다. 끓는 물에서 조리한 경우, 시간이 경과할수록 총 페놀 함량이 0.92(1분),

0.79(3분), 0.67(10분) mg/g으로 감소하였고, 스팀 조리했을 때에는 1분 가열의 경우 생 브로콜리보다 총 페놀 함량이 오히려 1.27 g/mg으로 증가한 것을 알 수 있었다.

브로콜리의 부위별, 조리 조건별 라디칼 소거 능력을 측정 한 결과, 생 브로콜리의 RSC(%) 값은 꽃과 줄기 부위 각각 15.96, 13.45%로 꽃 부위의 라디칼 소거 능력이 높게 측정되었다. 조리 조건별 RSC(%) 값을 살펴보면 끓는 물에서 조리한 경우 RSC 값은 조리 시간이 경과할 수록 14.91%에서 5.85%까지 라디칼 소거 능력이 감소하는 것을 확인할 수 있었고, 스팀 조리했을 때의 RSC 값은 조리 시간별로 각각 35.44, 27.72, 27.66%로 나타남에 따라 생 브로콜리에 비해 최대 2배 이상 라디칼 소거 능력이 높아졌음을 알 수 있었다.

브로콜리 중 가식부인 꽃과 비 가식부인 줄기의 sulforaphane 함량은 식용으로 사용되는 꽃 부위에는 14.78 mg/kg, 줄기 부위에는 6.16 mg/kg으로 측정되었다. 이에 꽃 부위뿐만 아니라 줄기 부위에도 sulforaphane이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 한편, 브로콜리를 끓는물($100 \pm 2^\circ\text{C}$)과 스팀을 이용하여 1, 3 및 10분 가열 조리했을 때의 결과를 살펴보면 열이 가해짐과 동시에 sulforaphane 함량이 급격히 감소함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 방사선 융합기술 개발사업의 지원을 받아 수행되었으며 그 지원에 감사드립니다.

문헌

- Chiao JW, Chung FL, Kancharla R, Ahmed T, Mittelman A, Conaway CC (2002) Sulforaphane and its metabolite mediate growth arrest and apoptosis in human prostate cancer cells. *Int J Oncol* 20: 631-636.
- Denis G, Martin G, Dominiique B, Albert M, Yves T, Richard B (2004) Induction of medulloblastoma cell apoptosis by sulforaphane, a dietary anticarcinogen from *Brassica* vegetables. *Cancer Letters* 203: 35-43.
- Jang JS, Lee YH, Hong JH, Lee KT (2006) Oxidation stability of fish oil containing commercially available antioxidants. *Kor J Food Preserv* 13: 66-70.
- Kawakishi S, Namiki M (1969) Decomposition of allyl isothiocyanate in aqueous solution. *J Agric Biol Chem* 33: 452.
- Kim MR, Kim JH, Wi DS, Na JH, Sok DE (1999) Volatile sulfur compounds, proximate components, minerals, vita-

- min C content and sensory characteristics of the juices of kale and broccoli leaves. *Kor J Soc Food Sci Nutr* 28: 1201-1207.
- Kim MR, Lee HS (1989) Purification and characterization of radish myrosinase. *Kor J Food Sci Technol* 21: 136-144.
- Kim MR, Lee KJ, Kim JH, Sok DE (1997) Determination of sulforaphane in cruciferous vegetables by SIM. *Kor J Food Sci Technol* 29: 882-887.
- Kjaer A (1960) Naturally derived isothiocyanates (mustard oils) and their parent glucosides. *Fortschr Chem Org Naturst* 18: 122.
- Larrauri JA, Ruperez P, Saura-Calixto F (1997) Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. *J Agric Food Chem* 44: 1390-1393.
- Lee KM, Jeong GT, Park DH (2004) Study of antimicrobial and DPPH radical scavenger activity of wood vinegar. *Kor J Biotechnol Bioeng* 19: 381-384.
- Lee SC, Jeong SM, Kim SY, Park HR, Nam KC, Ahn DU (2006) Effect of far-infrared radiation and heat treatment on the antioxidant activity of water extracts from peanut hulls. *J Agric Food Chem* 94: 489-493.
- Liang H, Yuan QP, Dong HR, Liu YM (2006) Determination of sulforaphane in broccoli and cabbage by high-performance liquid chromatography. *J Food Composit Anal* 19: 473-476.
- Maillard MN, Berest C (1995) Evaluation of antioxidant activity during killing, role of insoluble bound phenolic acids of barley and malt. *J Agric Food Chem* 43: 1789-1793.
- Ody P (1995) Herbal insights: A close look at active constituents of medicinal herbs. *Soaps, Oils, Fats and Waxes Journal* 121: 8-11.
- Park KE, Jang MS, Lim CW, Kim YK, Seo YG, Park HY (2005) Antioxidant activity on ethanol extract from boiled-water of *Hizikia fusiformis*. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 48: 435-439.
- Park SY, Kim JW (1992) Screening and isolation of the anti-tumor agents from medicinal plants(I). *Kor J Pharmacogn* 23: 264-267.
- Petri NC, Tannergren B, Holst FA, Mellon Y, Bao GW, Plumb J, Bacon KA, O'leary PA, Kroon L, Knutson P, Forsell T, Eriksson H, Lennernas, Williamson G (2003) Absorption/metabolism of sulforaphane and quercetin and regulation of phase 2 enzymes, in human jejunum *in vivo*. *Drug Metab Dispos* 31: 805-813.
- Shang J, Svehlikova V, Bao Y, Howie AF, Beckett GJ, Gary W (2003) Synergy between sulforaphane and selenium in the induction of thioredoxin reductase 1 requires both transcriptional and translational modulation. *Carcinogenesis* 24: 497-503.
- Shapiro TA, Fahey JW, Wade KL, Stephenson KK, Talalay P (1998) Human metabolism and excretion of cancer chemoprotective glucosinolates and isothiocyanates of cruciferous vegetables. *Epidemiol Biomarkers Prev* 7: 1091-1100.
- Sivakumar G, Aliboni A, Bacchetta L (2007) HPLC screening of anti-cancer sulforaphane from important European *Brassica* species. *Food chem* 104: 1761-1764.
- Sok DE, Kim JH, Kim MR (2003) Isolation and identification of bioactive organosulfur phytochemicals from solvent extract of broccoli. *Kor J Soc Food Sci Nutr* 32: 315-319.
- Whitry JP, Bjeldanes LF (1987) The effect of dietary broccoli and butylated hydroxyanisole on liver-mediated metabolism. *Food Chem Toxicol* 25: 581.

(2009년 1월 8일 접수, 2009년 5월 18일 채택)