

## 양배추 가공조건에 따른 생리활성 물질의 함량 및 항산화 활성

황은선\* · 뉴안 도티  
한경대학교 영양조리과학과

### Impact of Cooking Method on Bioactive Compound Content and Antioxidant Capacity of Cabbage

Eun-Sun Hwang\* and Nhuan Do Thi

Department of Nutrition and Culinary Science, Hankyong National University

**Abstract** We evaluated the effects of three common cabbage cooking methods (blanching, steaming and microwaving) on glucosinolate and S-methylmethionine (SMM) content and total antioxidant capacity of cabbage leaves. We detected four glucosinolates, including glucoraphanin, sinigrin, glucobrassicin, and 4-methoxyglucobrassicin, by high-pressure liquid chromatography (HPLC). Cabbage contained high levels of SMM (192.85 mg/100 g dry weight), compared to other cruciferous vegetables. Blanching cabbage leaves for one to ten minutes decreased glucosinolate and SMM levels, whereas microwaving or steaming cabbage for 5-10 min preserved glucosinolate and SMM levels. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) radical scavenging activities of cooked cabbage generally decreased as cooking time increased, but microwave cooking had a smaller negative effect on antioxidant activities than blanching or steaming. This study demonstrates that some domestic cooking methods, such as microwaving and steaming, can increase the bioaccessibility of glucosinolates and SMM, highlighting the positive role of cooking on the nutritional qualities of cabbage.

**Keywords:** cabbage, processing, glucosinolate, S-methylmethionine, antioxidant

## 서 론

양배추(*Brassica oleracea* L.)는 재배역사가 가장 오래된 십자화과(*Cruciferae*) 채소 중 하나로 우리나라, 중국, 일본 등지에서 널리 식용되고 있다(1). 양배추에는 필수아미노산인 라이신, 필수지방산인 리놀렌산과 카로틴, 비타민C, 섬유질 등의 영양성분과 glucosinolates라는 독특한 생리활성 물질이 풍부한 것으로 알려져 있다(2). Glucosinolates는 황(sulfur)을 함유하는 glycoside 물질로 해충, 병원체 등에 대한 식물체의 방어기작에 중요한 역할을 한다(3). 현재까지 약 100여종 이상의 glucosinolates가 밝혀져 있으며(4,5), 그 중 30여종이 인체에 유용한 생리활성을 나타낸다(6). 십자화과 채소에 함유된 glucosinolates의 종류 및 함량은 채소의 종류, 품종, 기후조건, 토양 등에 따라 차이가 있으며, 양배추에는 sinigrin, glucoraphanin, glucobrassicin 등이 주요 glucosinolates로 존재한다(7). 십자화과 채소에 함유된 glucosinolates는 활성이 없는 상태로 존재하다가 조리나 가공을 위해 채소를 자르고 다지고 으개는 과정에서 또는 입안에서의 씹는 과정을 통해 십자화과 채소 자체 내에 존재하는 가수분해 효소인 myrosinase

(thioglycoside glucohydrolase)에 의해 활성을 지니는 isothiocyanate (ITC)로 전환된다(8,9). 실제 십자화과 채소가 지니는 생리활성은 glucosinolates와 이들의 가수분해 물질인 ITC에 의한 것으로 이들 물질들은 체내 무독화 효소를 활성화 시켜서 암을 예방하거나 면역기능을 활성화시키고, 항산화 효능을 증가시키는 것으로 알려져 있다(10).

양배추에는 위액 분비를 억제하고 궤양조직의 세포 재생을 촉진하는 물질로 알려진 S-methylmethionine (SMM)이 다른 십자화과 채소에 비해 다량 함유되어 있다(11). SMM은 일명 비타민U라고도 불리는 아미노산의 일종으로 methionine을 전구체로 하여 S-adenosylmethionine (SAM)을 거쳐 식물효소인 methionine-methyltransferase에 의해서 합성이 촉진된다(12). SMM은 항염증, 통증 억제, 지방축적 억제 작용 등이 있다고 보고되고 있다(11,13). 현재까지 개별 채소로부터의 SMM 함량 분석에 관한 연구는 일부 연구자들에 의해 수행되었으나 양배추의 조리조건에 따른 SMM 함량 변화에 대한 연구는 보고된 바가 없다.

양배추는 우리나라에서 가장 많이 소비되는 십자화과 채소 중 하나이다. 양배추의 경우는 신선한 상태로 섭취하기보다는 삶거나 찌거나 전자레인지로 이용하여 익힌 상태로 섭취되는 경우가 많으며, 각기 다른 가공 및 조리방법은 glucosinolate 함량에 큰 영향을 줄 수 있다. 신선한 채소에 열을 가하여 가열하게 되면 열에 불안정하고 민감한 영양소의 파괴를 나타내기도 하지만 일부 생리활성물질의 가수분해를 촉진시키고 생체이용도를 향상시키는 긍정적인 영향을 주기도 한다. 따라서 각기 다른 가공 및 조리과정을 거치면서 양배추에 함유된 생리활성 물질의 함량 및 변화 양상을 알아보는 것은 매우 의미 있는 연구가 될 것으로 사료된다.

\*Corresponding author: Eun-Sun Hwang, Department of Nutrition and Culinary Science, Hankyong National University, Anseong, Gyeonggi 456-749, Korea  
Tel: 82-31-670-5182  
Fax: 82-31-670-5189  
E-mail: ehwang@hknu.ac.kr  
Received January 9, 2015; revised March 5, 2015;  
accepted March 9, 2015

본 연구에서는 양배추의 가공방법과 가공시간에 따른 glucosinolates와 위계양 예방 물질로 알려진 SMM의 변화 패턴 및 항산화 활성을 알아보았다.

## 재료 및 방법

### 실험재료 및 시약

본 실험에 사용한 양배추는 경기도 구리시에 소재한 농수산물 시장에서 구입하였다. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)과 DL-methionine methylsulfonium chloride는 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)로부터 구입하였고, 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS), Folin-Ciocalteu's phenol reagent는 Fluka (Buchs, Switzerland)에서 구입하였다. HPLC 표준물질들과 그 외 시약들은 Sigma-Aldrich와 Juncei chemical Co., Ltd. (Tokyo, Japan)에서 HPLC 분석에 사용한 용매는 J.T. Baker (Boston, MA, USA)에서 구입하여 사용하였다.

### 양배추 조리 및 동결건조 시료 제조

양배추는 이물질 제거하고 가식부위를 적당한 크기로 잘라 골고루 잘 섞은 후 3가지 방법(blanching, steaming, microwaving)으로 가공하였다. 가공하지 않은 신선한 상태의 양배추를 대조군으로 사용하였다. 데치기(blanching) 방법은 양배추 무게(500 g)의 5배에 해당하는 물을 냄비에 붓고 물이 끓기 시작하면 양배추를 넣어 1분, 5분, 10분간 데친 후에 양배추를 체에 건져 물기를 제거하였다. 스팀(steam)에 의한 가공은 스팀 찜기(Tefal, Seoul, Korea)에 물을 붓고 끓이다가 스팀이 올라오면 양배추 500 g을 넣고 각각 1, 5, 10분 동안 찜 한 후에 양배추를 체에 건져 물기를 제거하였다. 전자레인지(Samsung Electronics, Seoul, Korea)를 이용한 열처리는 양배추 500 g을 전자레인지 용기에 담고 2, 3, 5분간 가열하였다. 가공이 끝난 후에는 양배추의 열기를 식혀 비닐 백에 담아 -20°C에서 냉동시켰다. 시료가 완전히 냉동된 후에 동결건조기(ILShin Biobase, Dongduchun, Korea)에서 건조시킨 후 분쇄기(Hanil, Seoul, Korea)를 이용하여 마쇄하여 미세한 가루로 제조하였다. 제조된 시료는 플라스틱 tube에 넣어 -20°C에 보관하면서 향후 실험에 사용하였다.

### 양배추 추출물 제조

동결건조 후 제조한 양배추 분말 10 g에 70% 에탄올 500 mL을 가하여 37°C 항온수조에서 24시간 동안 추출하였다. 추출 후 에탄올 분획층을 회전감압농축기(EYELA, Rikakiki Co., Tokyo, Japan)로 농축한 후, DMSO 녹여 stock solution을 제조하였다. 제조된 stock solution은 -20°C에 보관하면서 기능성 물질의 분석방법 및 assay에 적합하도록 농도별로 희석하여 사용하였다.

### Glucosinolates 함량 분석

양배추에 함유된 glucosinolates는 국제표준화기구의 공인된 방법으로 분석하였다(14). 동결건조시킨 양배추 분말 50 mg을 70%의 boiling 에탄올과 섞어 70°C water bath에서 5분간 반응시킨 후 4°C에서 20분간 13,000×g에서 원심분리하였다. 1 mL blue tip에 DEAE-Sephadex A-25를 충전하여 만든 미니컬럼에 원심분리한 시료를 loading 한 후 75 µL의 aryl sulfatase (28.7 unit) 용액을 loading 하였다. 실온에서 12시간 동안 방치하면서 시료에 함유된 glucosinolates로부터 sulfur가 분리되도록 하였다. 미니 컬럼에 증류수 3 mL를 3회 반복하여 loading 하면서 sulfur가 분리된 glucosinolates를 따로 모아 HPLC (Dionex, Sunnyvale, CA, USA)로

분석하였다. Desulfo glucosinolates는 inertsil ODS2 (C<sub>18</sub>) column (4.6×250 mm, GS Science, Tokyo, Japan)을 사용하였고, column oven 온도는 35°C, 이동상은 분당 1.0 mL로 흘려주면서 227 nm에서 분석하였다. 이동상은 deionized water (solvent A)와 20% acetonitrile (solvent B)를 이용하여 linear gradient로 1-99% solvent B를 18분 동안, 99% solvent B를 11분간, 99-1% solvent B를 3분 동안 주입하면서 분석하였다. HPLC 분석을 통해 얻은 주요 peak에 대한 mass spectrum을 LC-MS-QToF (Waters, Milford, MA, USA)로 분석하여 분자량을 확인하여 glucosinolates임을 확인하였다.

### SMM 함량 분석

양배추에 함유된 SMM 함량은 Hong과 Kim의 방법(13)을 본 실험에 맞게 변형시켜 분석하였다. 동결건조한 분말시료 2 g에 80% 에탄올 50 mL을 넣어 잘 혼합한 후, 실온에서 3시간 동안 추출하여 얻은 상층액을 0.45 µm 여과지(Millipore HVLPO4700, Darmstadt, Germany)로 여과시킨 후 회전감압농축기(EYELA, Rikakiki Co.)를 이용하여 농축시켰다. 농축시료에 0.2 N sodium citrate buffer 용액을 가하고 3분 동안 초음파처리를 하였다. 시료에 함유된 색소물질을 제거하기 위해 Sep-pak C<sub>18</sub> cartridges (Waters, Milford, MA, USA)에 통과시키고 0.45 µm filter (Whatman 6789-1304 syringe filter, Piscataway, NJ, USA)로 다시 한번 여과한 용액을 분석용 시료로 사용하였다. 시료 중의 SMM 농도는 시료를 일정량 취하고 전처리하여 시험용액을 제조 후 HPLC (Agilent 1100, Agilent Technologies, Inc., Santa Clara, CA, USA)에 주입하여 표준용액의 성분과 머무름 시간이 일치하는 peak의 면적값을 해당표준물질의 검량선에 대입하여 농도를 구하였다. Zorbax Eclipse AAA-C<sub>18</sub> column (4.6×150 mm, Agilent Technologies, Inc.)을 사용하였고, column oven의 온도는 40°C, 이동상의 유속은 분당 2.0 mL로 형광검출기(ex. 340 nm, em. 450 nm)로 분석하였다. 이동상은 40 mM NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (pH 7.6-7.8, solvent A)와 acetonitrile:methanol:water (45:45:10, solvent B)를 이용하여 linear gradient로 1-43.3% solvent A를 18.1분 동안, 100% solvent B를 22.3분간, 100% solvent A를 26.0분 동안 주입하면서 분석하였다.

### 항산화 활성 측정

DPPH 라디칼에 대한 전자공여능 측정: 양배추 에탄올 추출물의 전자공여능을 DPPH assay로 측정하였다(15). 96-well plate에 농도별 추출물 100 µL와 0.2 mM DPPH 용액 100 µL를 첨가한 후 37°C에서 30분간 반응시켰다. ELISA reader (Spectra MAX M2, Molecular Device, Sunnyvale, CA, USA)를 사용하여 515 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군으로는 BHA와 vitamin C를 사용하였다. 시료의 DPPH 라디칼에 대한 전자공여능은 아래 식에 측정된 흡광도 값을 대입하여 산출하였다.

전자공여능(%)

$$= (1 - \text{시료첨가구의 흡광도} / \text{시료 무 첨가구의 흡광도}) \times 100$$

ABTS 라디칼에 대한 전자공여능 측정: 양배추 에탄올 추출물의 전자공여능을 ABTS assay로 측정하였다(16). 96-well plate에 농도별 추출물 100 µL와 0.2 mM ABTS 용액 100 µL를 첨가한 후 37°C에서 30분간 반응시켰다. ELISA reader (Spectra MAX M2, Molecular Device, Sunnyvale, CA, USA)를 사용하여 732 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군으로는 BHA와 vitamin C를 사용하였다. 시료의 ABTS 라디칼에 대한 전자공여능은 아래 식

에 측정된 흡광도 값을 대입하여 산출하였다.

전자공여능(%)

$$= (1 - \text{시료첨가구의 흡광도} / \text{시료 무 첨가구의 흡광도}) \times 100$$

### 통계처리

실험결과에 대한 통계처리는 SPSS software package (Version 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 평균과 표준편차로 나타내었고, 각 처리군 간의 유의성에 대한 검증은 ANOVA를 이용하여 유의성을 확인한 후,  $p < 0.05$  수준에서 Duncan's multiple test를 이용하여 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### Glucosinolates 함량

Figure 1은 glucosinolates 함량을 분석하기 위하여 조리하지 않은 신선한 양배추 추출물을 HPLC로 분석하여 얻은 chromatogram이다. 양배추 에탄올 추출물로부터 glucoraphanin, sinigrin, glucobrassicin, 4-methoxyglucobrassicin의 총 4종의 glucosinolates를 확인하였으며, 이들의 retention time은 각각 6.93, 8.87, 18.83 및 21.01분으로 나타났다. Glucosinolates는 기능기의 종류에 따라 aliphatic group과 indole group으로 분류할 수 있으며, glucorapha-

nin, sinigrin과 같은 aliphatic 물질과 glucobrassicin, 4-methoxyglucobrassicin과 같은 indole 물질이 검출되었다.

Table 1은 시간을 달리하여 양배추를 끓는 물에 데쳤을 때, 양배추에 함유된 glucosinolate 함량을 HPLC로 측정하고 정량하여 나타낸 결과이다. 신선한 양배추에서는 건조 중량 g당 sinigrin이  $4.54 \mu\text{mol/g}$ 으로 가장 많은 양이 검출되었으며, glucobrassicin, 4-methoxyglucobrassicin 및 glucoraphanin이 각각 3.63, 2.30 및  $2.05 \mu\text{mol/g}$  순으로 나타났다. 신선한 양배추의 total glucosinolates 함량은 건조중량 g당  $12.52 \mu\text{mol}$ 이었는데 약 5분간 데치는 동안  $14.63 \mu\text{mol}$ 로 다소 증가하는 듯 하였으나, 데치는 시간이 10분으로 증가함에 따라 약 8.8% 감소한  $11.42 \mu\text{mol}$ 이 검출되었다. Glucoraphanin의 경우도 데치는 시간이 10분까지 증가함에 따라 신선한 양배추보다 36.1% 감소한  $1.31 \mu\text{mol/g}$ 으로 감소하였으며, sinigrin과 glucobrassicin도 10분 동안 가열한 시료에서 신선한 양배추에 비해 각각 23.6%와 6.9% 감소한  $3.47$ 과  $3.38 \mu\text{mol/g}$ 으로 나타났다. 4-Methoxyglucobrassicin의 경우, 끓는 물에 5분 동안 데치는 동안은 그 양이 증가하는 경향을 나타냈으며, 5분간 데친 양배추에서는 가열하지 않은 양배추에 비해 54.3% 증가한  $3.55 \mu\text{mol}$ 로 가장 높았다. 그러나 데치는 시간이 10분으로 길어짐에 따라 다소 감소한  $3.26 \mu\text{mol}$ 을 나타냈다.

Table 2는 양배추를 찌는 방법(steaming)으로 가열하였을 때 양

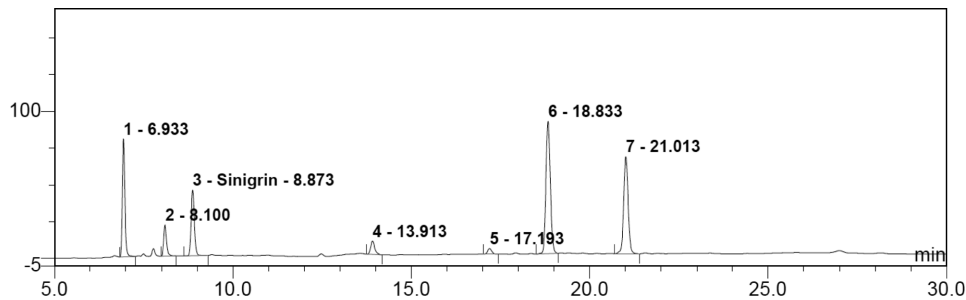


Fig. 1. Representative HPLC chromatogram of glucosinolates isolated from cabbage.

Table 1. Concentration of glucosinolates ( $\mu\text{mol/g}$ ) in blanched cabbage

Glucosinolate	Heating time (min)			
	0	1	5	10
Glucoraphanin	$2.05 \pm 0.11^{b*}$	$2.32 \pm 0.06^b$	$1.87 \pm 0.53^a$	$1.31 \pm 0.28^a$
Sinigrin	$4.54 \pm 0.15^{ab}$	$5.11 \pm 0.07^b$	$4.08 \pm 0.62^a$	$3.47 \pm 0.34^a$
Glucobrassicin	$3.63 \pm 0.09^a$	$3.75 \pm 0.12^a$	$5.13 \pm 1.88^b$	$3.38 \pm 1.02^a$
4-Methoxyglucobrassicin	$2.30 \pm 0.06^a$	$2.82 \pm 0.04^a$	$3.55 \pm 0.39^b$	$3.26 \pm 0.15^b$
Total	$12.52 \pm 0.25^a$	$13.99 \pm 0.18^b$	$14.63 \pm 3.40^b$	$11.42 \pm 1.79^a$

\*Data were the mean $\pm$ SD of three separate extractions. Values with the same superscripts for each glucosinolate are not significantly different at  $p < 0.05$ .

Table 2. Concentration of glucosinolates ( $\mu\text{mol/g}$ ) in steamed cabbage

Glucosinolate	Cooking time (min)			
	0	1	5	10
Glucoraphanin	$2.05 \pm 0.11^{a*}$	$1.92 \pm 0.08^a$	$3.85 \pm 0.18^b$	$4.24 \pm 0.59^b$
Sinigrin	$4.54 \pm 0.15^a$	$4.71 \pm 0.11^a$	$10.07 \pm 0.27^b$	$10.29 \pm 0.48^b$
Glucobrassicin	$3.63 \pm 0.09^a$	$2.87 \pm 0.22^a$	$6.37 \pm 0.39^b$	$7.61 \pm 0.94^c$
4-Methoxyglucobrassicin	$2.30 \pm 0.06^a$	$2.36 \pm 0.02^a$	$6.00 \pm 0.13^b$	$6.64 \pm 0.21^b$
Total	$12.52 \pm 0.25^a$	$11.87 \pm 0.40^a$	$26.30 \pm 0.94^b$	$28.78 \pm 2.22^b$

\*Data were the mean $\pm$ SD of three separate extractions. Values with the same superscripts for each glucosinolate are not significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 3. Concentration of glucosinolates ( $\mu\text{mol/g}$ ) in microwaved cabbage**

Glucosinolate	Heating time (min)			
	0	2	3	5
Glucoraphanin	2.05 $\pm$ 0.11 <sup>a*</sup>	4.45 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	5.23 $\pm$ 0.24 <sup>c</sup>	3.48 $\pm$ 0.33 <sup>ab</sup>
Sinigrin	4.54 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	8.36 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>	11.57 $\pm$ 0.13 <sup>c</sup>	8.03 $\pm$ 0.22 <sup>b</sup>
Glucobrassicin	3.63 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	5.91 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	8.95 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	10.13 $\pm$ 0.72 <sup>d</sup>
4-Methoxyglucobrassicin	2.30 $\pm$ 0.06 <sup>a</sup>	5.80 $\pm$ 0.93 <sup>b</sup>	6.98 $\pm$ 0.08 <sup>c</sup>	6.88 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup>
Total	12.52 $\pm$ 0.25 <sup>a</sup>	24.51 $\pm$ 0.58 <sup>b</sup>	32.73 $\pm$ 0.56 <sup>c</sup>	28.51 $\pm$ 1.37 <sup>b</sup>

\*Data were the mean $\pm$ SD of three separate extractions. Values with the same superscripts for each glucosinolate are not significantly different at  $p < 0.05$ .

배추에 함유된 glucosinolate 함량을 HPLC로 측정 후 정량하여 나타낸 결과이다. 데치기와는 달리 찌는 방법을 사용했을 때는 조리시간이 1분에서 5분까지 증가함에 따라 total glucosinolate 함량이 증가하는 경향을 보였으며 10분 동안 steaming 한 결과 total glucosinolate 함량은 가열하지 않은 양배추에 비해 약 2.3배 증가한 28.78  $\mu\text{mol/g}$  으로 나타났다. Glucoraphanin의 경우도 가열시간이 10분까지 증가함에 따라 신선한 양배추보다 2.1배 증가한 4.24  $\mu\text{mol/g}$ 로 나타났으며, sinigrin과 glucobrassicin도 10분 동안 가열한 시료에서 신선한 양배추에 비해 각각 2.3배와 2.1배 증가한 10.29와 7.61  $\mu\text{mol/g}$ 으로 나타났다. 4-Methoxyglucobrassicin도 가열시간에 따라 그 함량이 증가하는 경향을 나타냈고 10분 동안 가열한 시료에서 6.64  $\mu\text{mol/g}$ 으로 나타났다.

Table 3은 양배추를 전자레인지(microwave oven)를 이용하여 열처리하였을 때 양배추에 함유된 glucosinolate 함량을 HPLC로 측정 후 정량하여 나타낸 결과이다. 전자레인지를 이용한 방법의 경우도 2-5분 동안 가열함에 total glucosinolate 함량이 각각 24.51과 28.51  $\mu\text{mol/g}$ 으로 약 1.9배와 2.3배 증가함을 확인하였다. 가열하지 않은 신선한 양배추의 glucoraphanin 함량에 비해 3분간 전자레인지를 이용하여 가열하면 5.23  $\mu\text{mol/g}$ 으로 증가하였으나 가열시간이 5분으로 증가하면 3.48  $\mu\text{mol/g}$ 으로 감소함을 확인하였다. Microwave로 3분간 가열함에 따라 sinigrin 함량은 11.57  $\mu\text{mol/g}$ 으로 신선한 양배추에 비해 2.5배 증가하였으나 가열시간이 5분으로 증가하면서 sinigrin 함량이 8.03  $\mu\text{mol/g}$ 으로 감소하였다. Glucobrassicin은 가열시간에 비례하여 그 함량이 증가하여 3분과 5분 동안 가열한 경우 신선한 양배추에 비해 각각 2.5배 (8.95  $\mu\text{mol/g}$ )와 3.6배(10.13  $\mu\text{mol/g}$ ) 증가함을 확인하였다. 4-Methoxyglucobrassicin도 가열시간에 비례하여 그 함량이 증가하였으나, 3분 이후에 증가하는 양은 많지 않았다.

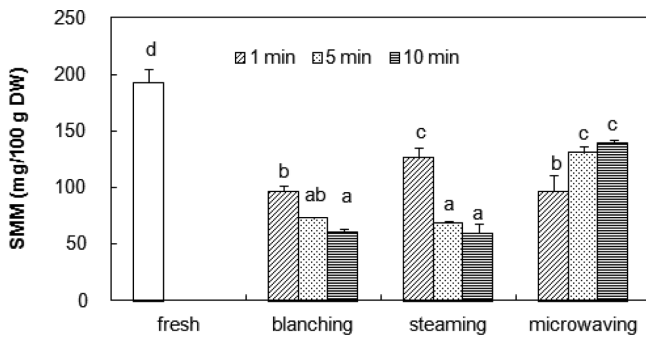
각기 다른 가공방법은 glucosinolates 함량에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. Wennberg 등(3)의 연구에서도 양배추를 가늘게 채 썰어 끓는 물에 데쳤을 때, 열처리 하지 않은 대조구에 비해 total glucosinolate 함량이 약 50-75%까지 감소하였고, 특히 4-methoxyglucobrassicin은 다른 glucosinolate에 비해 가장 열에 민감하여 71% 정도 감소함을 확인하였다. 브로콜리를 데치는 과정에서 본 연구 결과와 유사하게 glucosinolates 함량이 본 연구 결과와 유사하게 소폭 감소하였으나, 스팀과 전자레인지 조리에서는 통계적으로 유의성 있게 증가하였다(17,18).

브로콜리에 함유된 glucosinolates 중 glucobrassicin과 neoglucobrassicin이 가장 안정하였고 브로콜리를 끓이거나 전자레인지에 가열하였을 때 약 20%의 감소를 가져왔다. 그러나 broccoli를 데친 후에는 neoglucobrassicin은 변하지 않고 그대로 유지되었으나 glucobrassicin은 60%까지 감소하였다(19). 이러한 결과는 조리방법에 따라 각각의 glucosinolates는 각기 다르게 반응함을 나타낸

다. 브로콜리를 물에 데치는 경우 glucoiberin, glucoraphanin과 glucobrassicin은 거의 유사하게 80%까지 감소하였다. 반면에 방울다기양배추(Brussels sprouts)를 물에 데치는 경우에는 progoitrin, sinigrin, glucobrassicin의 감소폭은 다르게 나타났으며 각각 2, 4, 13%까지 감소하였다(20).

일반적으로 십자화과 채소의 가공 및 조리과정에서 aliphatic glucosinolates는 indole glucosinolates보다 더 안정하였고, 개별적인 glucosinolates의 안정성은 그들의 화학구조와 관련이 있는 것으로 알려져 있다(21). 개별적인 glucosinolates의 열처리에 대한 상대적인 안정도는 가열온도에 따라 다양하게 나타났다(22). Indole glucosinolates의 열분해는 110°C 이하에서 aliphatic glucosinolates에 비해 75배나 높게 나타났다. 110°C 이상에서는 열분해가 증가되었으며 indole과 aliphatic glucosinolates의 열에 대한 안정도의 차이는 감소하였다. 120°C에서는 progoitrin과 gluconapin은 다른 glucosinolates보다 각각 5배와 8배 감소하였고, 그 외 indole과 aliphatic glucosinolates는 유사한 정도로 감소하였다(22).

십자화과 채소는 조리 전에 자르거나 다져서 사용하는데, 이러한 과정도 glucosinolates 함량에 많은 변화를 준다. 예를 들면, Verkerk 등(23)에 의하면 잘게 다진 흰색 양배추에서 48시간 경과 후, 총 indole glucosinolates 함량이 약 5배가량 증가하였으나 aliphatic glucosinolates는 변하지 않고 일정하게 유지되었다. 반면에, 적색 양배추에서는 glucobrassicin은 3.5배 증가하였고 기타 다른 glucosinolates 함량은 변하지 않았다. 수용성 glucosinolates는 채소를 자른 후 뜨거운 물로 씻거나 사용하거나 물에 오랜 시간 담가 둘 경우 glucosinolates의 손실이 증가한다(24). 채소를 물에 넣어 끓이는 가공법은 불용성 물질을 물에 용해되기 쉬운 형태로 바꾸거나 분자량이 작은 형태로 분해시켜 우리 몸에 이용하기 쉬운 형태로 바꾸는 장점이 있다(25). 그러나 glucosinolates와 같은 수용성이 강한 생리활성 물질들은 가공 시 상당량 물을 통해 용출시켜 되기 때문에 물을 가해 장시간 가열하면 손실될 수 있다(17). 찌거나 전자레인지로 가열하는 경우보다 끓이거나 데치는 조리법은 식물세포의 파괴 및 분해, 열에 의한 효소 활성의 저하로 인해 십자화과 채소에 함유된 glucosinolates 손실이 높은 것으로 보고되고 있다(26). 따라서 가공 및 조리과정에서 지나치게 많은 양의 물을 가하는 것을 피하는 것이 바람직하다. 본 연구결과를 통해 보면 전자레인지 조리는 물을 매우 적게 사용하므로 조리수에 의한 증발이나 손실이 비교적 적은 것으로 나타났다. 또한 물을 넣지 않고 증기로 찌는 조리법에서도 glucosinolates 함량이 약간 증가되었다. 이는 양배추 조직과 단단하게 결합되어 있던 glucosinolates가 열처리 과정을 통해 조직으로부터 분리되어 표면으로 노출되었기 때문으로 사료된다(26). 따라서 적절한 조리법 및 열처리 시간의 선택은 식품이 가진 유효 생리활성 물질을 보존하거나 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다.



**Fig. 2. Concentration of SMM (mg/100 g DW) at differently processed cabbage.** Microwaved cabbages were heated for 2, 3 and 5 min instead of 1, 5 and 10 min. Data were the mean±SD of three separate extractions. Values with the same superscripts for each row are not significantly different at  $p < 0.05$ .

### SMM 함량

Figure 2는 각 가공방법별로 시간을 달리하여 양배추에 함유된 SMM 함량을 HPLC로 측정 후 정량한 결과이다. SMM 함량은 끓는 물에 데치거나 찌기를 이용하여 찌는 경우 가열시간이 증가함에 따라 그 함량이 감소하였다. 신선한 양배추의 SMM 함량은 건조중량 100g 당 192.85 mg이었는데 약 5분간 물을 넣고 데치는 동안 62.0% 감소한 73.26 mg이었으며, 데치는 시간이 10분으로 증가함에 따라 약 68.6% 감소한 60.51 mg이 검출되었다. 찌는 방법에 의해서는 가열시간이 1분에서 5분까지 증가함에 따라 SMM 함량이 각각 127.05 mg에서 69.03 mg으로 45.7% 감소하였으며, 10분 동안 찌 결과 SMM 함량이 신선한 양배추와 비교할 때, 약 68.8% 감소한 60.15 mg으로 나타났다. 전자레인지에 이용한 가열 방법에 의해서도 3분과 5분이 경과함에 따라 SMM 함량이 각각 131.00 mg과 139.64 mg으로 가열하지 않은 신선한 양배추에 비해 각각 32.07%와 27.59% 감소하였으나, 데치거나 찌는 방법에 비해 그 감소량이 적음을 확인하였다.

주요 십자화과 채소로부터 SMM 함량을 분석한 결과 건조 중량 100 g 당 케일 23.4 mg, 겨자채 19.6 mg, 브로콜리 18.9 mg, 아스파라거스 18.7 mg 등의 함량을 나타냈다(27). Cho 등(28)도 십자화과 채소로부터 SMM 함량을 분석하였는데, 건물 중량 100 g 당 무 77.80 mg, 배추 75.73 mg, 양배추, 68.10 mg, 케일 66.14 mg, 적겨자채 28.88 mg으로 보고하고 있다. 이들의 결과와 비교해 볼 때, 십자화과 채소 가운데 양배추는 SMM 함량이 비교적

풍부한 급원임을 확인하였으며, SMM의 파괴를 억제하기 위해서는 끓는 물에 데치거나 스팀을 이용하여 찌는 방법 보다는 전자레인지를 이용하여 단시간 가열하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

### 항산화 활성

농도를 달리하여 제조한 양배추 에탄올 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성은 Table 4와 같다. 열처리 방법을 달리하여 제조한 양배추 에탄올 추출물의 농도가 100-4,000 µg/mL로 증가함에 따라 DPPH 라디칼 소거활성도 증가하였다. 양배추 에탄올 추출물 100-1,000 µg/mL 농도에서는 신선한 양배추 추출물에 비해 각기 다른 열처리 방법으로 조리된 양배추 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성이 유의적으로 낮게 나타났다. 신선한 양배추 추출물에 비해 끓는 물에 데치거나 가열 시간이 길어질수록 DPPH 라디칼 소거능이 감소함을 확인하였다. 데치거나 스팀을 이용한 가열 시간이 증가함에 따라 DPPH 라디칼 소거활성이 감소하였다. 신선한 양배추의 DPPH 라디칼 소거능은 100 µg/mL 추출물 농도에서 43.28%였는데 약 5분간 물을 넣고 데치는 동안 22.65%로 감소하였고, 데치는 시간이 10분으로 증가함에 따라 약 18.13%까지 낮아졌다. 스팀을 이용한 방법에서도 조리시간이 1분에서 10분까지 증가함에 따라 500 µg/mL 양배추 추출물에서 DPPH 라디칼 소거능이 30.74%에서 26.11%로 감소하여 열처리 과정을 거치지 않은 양배추 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성인 51.51%보다 현저히 감소함을 확인하였다. 전자레인지를 이용한 열처리 방법에 의해서도 가열시간이 2분과 5분이 경과함에 따라 1,000 µg/mL 양배추 추출물의 DPPH 라디칼 소거활성이 각각 36.40%와 33.96%로 나타나 가열하지 않은 신선한 양배추 추출물에 비해 DPPH 라디칼 소거활성이 감소하였다. 이는 열처리 시간이 길어짐에 따라 양배추 추출물에 함유된 항산화 물질이 열에 의해 파괴되어 비활성 물질로 변화했기 때문으로 사료된다.

양배추 에탄올 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 Table 5에 나타내었다. 양배추 에탄올 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성은 배추 에탄올 추출물의 농도(100-4,000 µg/mL) 의존적으로 증가함을 확인하였다. DPPH 라디칼 소거능에서와 같이 신선한 양배추 추출물에 비해 각기 다른 열처리 방법으로 조리된 양배추 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성이 유의적으로 낮았으며 열처리 시간이 길어질수록 ABTS 라디칼 소거활성도 감소하였다. 가열하지 않은 양배추 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 100 µg/mL 추출물 농도에서 38.14% 였는데 끓는 물에 약 5분간 데치는 동안 21.43%로 감소하였고, 데치는 시간이 10분으로 증가함에 따라 약

**Table 4. The DPPH radical scavenging activity (%) of differently cooked cabbage ethanol extracts**

Treatments	Concentration (µg/mL)			
	100	500	1,000	4,000
Fresh	43.28±2.45 <sup>aC*</sup>	51.51±1.90 <sup>bB</sup>	60.68±2.00 <sup>cC</sup>	75.41±1.41 <sup>dB</sup>
Blanching, 1 min	24.21±3.53 <sup>AB</sup>	29.92±3.15 <sup>abAB</sup>	37.00±2.89 <sup>bAB</sup>	69.35±1.32 <sup>cA</sup>
Blanching, 5 min	22.65±4.39 <sup>AB</sup>	24.86±3.55 <sup>AA</sup>	33.42±3.38 <sup>bA</sup>	75.43±1.22 <sup>cB</sup>
Blanching, 10 min	18.13±4.13 <sup>aAB</sup>	23.37±3.72 <sup>aA</sup>	32.72±3.12 <sup>ba</sup>	75.25±1.13 <sup>cB</sup>
Steaming, 1 min	19.80±3.75 <sup>aAB</sup>	30.74±3.37 <sup>bAB</sup>	42.47±2.65 <sup>bB</sup>	79.36±0.80 <sup>dB</sup>
Steaming, 5 min	19.39±3.75 <sup>aAB</sup>	29.86±3.32 <sup>bAB</sup>	38.24±3.11 <sup>cAB</sup>	78.76±1.06 <sup>dB</sup>
Steaming, 10 min	16.41±4.04 <sup>aA</sup>	26.11±3.65 <sup>ba</sup>	36.41±2.83 <sup>cAB</sup>	77.70±0.68 <sup>dB</sup>
Microwave, 2 min	16.98±3.98 <sup>aA</sup>	27.45±2.55 <sup>ba</sup>	36.40±2.75 <sup>cAB</sup>	75.31±1.05 <sup>dB</sup>
Microwave, 3 min	15.54±3.42 <sup>aA</sup>	25.44±3.89 <sup>ba</sup>	34.85±3.94 <sup>cAB</sup>	73.00±1.06 <sup>dB</sup>
Microwave, 5 min	16.37±3.36 <sup>aA</sup>	27.38±2.70 <sup>ba</sup>	33.96±3.31 <sup>cA</sup>	69.36±1.58 <sup>dA</sup>

\*Data were the mean±SD of three separate extractions. <sup>a-d</sup>Means with different superscripts in the same row are significantly different at  $p < 0.05$ . <sup>A-D</sup>Means with different superscripts in the same column are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 5. The ABTS radical scavenging activity (%) of differently cooked cabbage ethanol extracts**

Treatments	Concentration (µg/mL)			
	100	500	1,000	4,000
Fresh	38.14±2.02 <sup>aC*</sup>	46.23±4.06 <sup>bB</sup>	58.81±3.76 <sup>cC</sup>	71.78±5.19 <sup>dC</sup>
Blanching, 1 min	21.12±3.53 <sup>aB</sup>	25.24±2.54 <sup>abA</sup>	35.09±2.45 <sup>bA</sup>	68.54±5.05 <sup>cB</sup>
Blanching, 5 min	21.43±4.39 <sup>aB</sup>	23.21±3.01 <sup>aA</sup>	33.27±2.87 <sup>bA</sup>	65.38±4.27 <sup>cB</sup>
Blanching, 10 min	17.52±3.28 <sup>aAB</sup>	20.17±2.94 <sup>abA</sup>	30.29±2.61 <sup>bA</sup>	60.73±3.67 <sup>cA</sup>
Steaming, 1 min	18.29±2.63 <sup>aAB</sup>	26.44±3.12 <sup>bAB</sup>	39.74±2.06 <sup>cB</sup>	66.90±4.09 <sup>dA</sup>
Steaming, 5 min	17.21±2.79 <sup>aAB</sup>	25.11±2.74 <sup>bA</sup>	37.63±3.10 <sup>cAB</sup>	62.66±3.69 <sup>dB</sup>
Steaming, 10 min	14.93±2.54 <sup>aA</sup>	24.25±2.68 <sup>bA</sup>	33.19±3.37 <sup>cA</sup>	61.48±2.85 <sup>dA</sup>
Microwave, 2 min	16.21±2.43 <sup>aA</sup>	25.56±2.30 <sup>aA</sup>	35.31±2.16 <sup>aA</sup>	68.18±4.11 <sup>aB</sup>
Microwave, 3 min	15.62±2.72 <sup>aA</sup>	24.86±2.91 <sup>bA</sup>	35.11±3.03 <sup>cA</sup>	67.02±2.57 <sup>dB</sup>
Microwave, 5 min	15.87±2.56 <sup>aA</sup>	24.45±2.08 <sup>bA</sup>	34.90±2.73 <sup>cA</sup>	66.78±3.16 <sup>dB</sup>

\*Data were the mean±SD of three separate extractions. <sup>a-d</sup>Means with different superscripts in the same row are significantly different at  $p<0.05$ . <sup>A-D</sup>Means with different superscripts in the same column are significantly different at  $p<0.05$ .

17.52%까지 낮아졌다. 스팀에 의한 가열에서도 조리시간이 1분에서 10분까지 증가함에 따라 500 µg/mL 양배추 추출물에서 ABTS 라디칼 소거활성이 26.44%에서 24.25%로 감소하여 열처리 과정을 거치지 않은 양배추 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성인 46.23%보다 현저히 감소함을 확인하였다. 전자레인지를 이용하여 가열한 경우도 가열시간이 2분에서 5분으로 길어짐에 따라 1,000 µg/mL 양배추 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성이 각각 35.31%와 34.90%로 나타나 가열하지 않은 신선한 양배추 추출물의 ABTS 라디칼 소거활성인 58.81%보다 감소하였다.

채소는 열처리 방법 및 가열시간에 따라 항산화 활성이 달라진다. Zhang과 Hamauzu (29)의 연구에 따르면 신선한 브로콜리에 비해 끓이거나 전자레인지로 가열한 브로콜리의 DPPH 라디칼 소거활성 및 항산화능력이 34.6-35.0%까지 감소했다고 보고하고 있어 본 결과와 유사한 결과를 나타냈다. 이는 가열 과정을 거치면서 채소에 함유된 비타민C, 폴리페놀 화합물 등 항산화 성분들이 열에 의해 불활성화되기 때문으로 사료된다(30,31). 한편, Pellegrini 등(32)의 연구에 따르면 브로콜리를 스팀으로 가열하면 열처리 하지 않은 신선한 브로콜리에 비해 ABTS 라디칼 소거능이 점차로 증가하는 것으로 보고하고 있어 본 연구와 다른 결과를 나타냈다. Ng 등(33)은 Chinese long bean, 브로콜리 등에서 스팀처리, 전자레인지 가열 및 압력을 이용한 조리 전후에서 수용성 페놀물질과 항산화 효과를 측정된 결과, DPPH 소거능과 환원력에 의한 항산화 활성이 증가함을 확인하였다. 배추잎의 발효에 따른 항산화 능력을 DPPH와 TEAC 소거활성으로 측정된 결과, DPPH 방법으로는 발효정도에 따른 항산화 능력의 차이를 관찰할 수 없었던 반면에 TEAC 방법에 의해서는 4주간 발효된 양배추가 발효되지 않은 배추에 비해 높은 항산화 능력을 보였다(34). 채소의 조리과정을 거치면서 일부 항산화 물질들은 조리하는 물속으로 용출되어 소실되거나 고온에서 장시간 가열하는 동안 비활성 물질로 전환하는 등 생리활성 물질들의 다양한 변화가 일어나는 것으로 사료된다. 따라서 항산화 물질의 손실을 최소화 할 수 있는 적절한 조리방법을 선택하는 것이 중요하다.

**요 약**

양배추를 각기 다른 방법(blanching, steaming, microwaving)으로 가열하면서 열처리 시간에 따른 glucosinolates와 SMM의 함량 변화 및 항산화 활성을 양배추 에탄올 추출물의 농도별로 측

정하였다. 신선한 양배추 추출물에는 glucoraphanin, sinigrin, 4-methoxyglucobrassicin 및 glucobrassicin의 4종의 glucosinolates를 HPLC 분석방법으로 확인하였다. 양배추는 SMM 함량이 건조중량 100 g 당 192.85 mg으로 다른 십자화과 채소들에 비해 풍부하였다. 끓는 물에 데치는 조리법에 비해 스팀을 이용하여 찌거나 전자레인지로 가열하였을 때 glucosinolates와 SMM 함량이 높게 나타났으며 이는 다량의 물을 사용하여 끓이는 경우, 수용성이 강한 이들 물질들이 조리수로 용출되기 때문으로 사료된다. 소량의 물을 붓고 찌거나 전자레인지로 가열하는 경우는 glucosinolates나 SMM이 조리수로 용출되는 것을 최소화하는 동시에 활성물질들이 열처리를 하는 동안 양배추 조직으로부터 분리되어 표면으로 노출되었기 때문으로 해석된다. DPPH와 ABTS 라디칼 소거능력을 통해 양배추 에탄올 추출물의 항산화 활성을 측정할 결과, 가열시간이 길어질수록 항산화 성분이 파괴되어 신선한 양배추에 비해 항산화 활성이 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 양배추를 포함한 십자화과 채소의 주요 생리활성 물질인 glucosinolates나 SMM의 파괴를 최소화하기 위해서는 가열 방법과 가열 시간을 적절히 선택하는 것이 중요하며, 가급적이면 장시간 동안 물에 끓이는 방법보다는 스팀을 이용하여 찌거나 전자레인지를 이용한 가열방법을 선택하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

**감사의 글**

본 연구는 한경대학교 2014년도 학술연구조성비의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

**References**

- McNaughton SA, Marks GC. Development of a food composition database for the estimation of dietary intakes of glucosinolates, the biologically active constituents of cruciferous vegetables. *Brit. J. Nutr.* 90: 687-697 (2003)
- Shim KH, Sung NK, Kang KS, Ahn CW, Seo KI. Analysis of glucosinolates and the change of contents during processing and storage in *cruciferous* vegetables. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 21: 43-48 (1992)
- Wennberg M, Ekvall J, Olsson K, Nyman M. Changes in carbohydrate and glucosinolate composition in white cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) during blanching and treatment with acetic acid. *Food Chem.* 95: 226-236 (2006)
- Agerbirk N, Olsen CE. Glucosinolate structures in evolution.

- Phytochemistry 77: 16-45 (2012)
5. Clarke DB. Glucosinolates, structures and analysis in food. *Anal. Method.* 2: 310-325 (2010)
  6. Fahey JW, Zalcmann AT, Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants. *Phytochemistry* 56: 5-51 (2001)
  7. Rosa EAS, Heaney RK, Fenwick GR, Portas CAM. Glucosinolates in crop plants. Vol. 19, pp. 99-215. In: *Horticultural Reviews*. Janick J (ed). Wiley-Blackwell, NY, USA (1997)
  8. Fenwick GR, Heaney RK. Glucosinolates and their breakdown products in cruciferous crops, foods and feedingstuffs. *Food Chem.* 11: 249-271 (1983)
  9. Bones AM, Rossiter JT. The myrosinase-glucosinolate system, its organisation and biochemistry. *Physiol. Plantarum* 97: 194-208 (1996)
  10. Conaway CC, Yang YM, Chung FI. Isothiocyanates as cancer chemopreventive agents: their biological activities and metabolism in rodents and humans. *Curr. Drug Metab.* 3: 233-255 (2002)
  11. Gessler NN, Bezzubov AA, Podlepa EM, Bykhovski VY. S-methylmethionine (vitamin U) metabolism in plants. *Appl. Biochem. Micro.* 27: 275-280 (1991)
  12. Augspurger NR, Scherer CS, Garrow TA, Baker DH. Dietary s-methylmethionine, a components of foods, has choline-sparing activity in chickens. *J. Nutr.* 135: 1712-1717 (2005)
  13. Hong EY, Kim GH. Changes in vitamin U and amino acid levels of Korean Chinese cabbages during kimchi fermentation. *Korean J. Food Preserv.* 12: 411-416 (2005)
  14. ISO. Rapeseed: determination of glucosinolates content-Part I: Method using high-performance liquid chromatography. ISO 9167-1:1992. International Standard Organization. Geneva, Switzerland. pp. 1-9 (1992)
  15. Cheung LM, Cheung PCK, Ooi VEC. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chem.* 81: 249-255 (2003)
  16. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Bio. Med.* 26: 1231-1237 (1999)
  17. Gliszczynska-Swiglo A, Ciska E, Pawlak-Lemaska K, Chmielewski J, Borkowski T, Tyrakowska B. Changes in the content of health-promoting compounds and antioxidant activity of broccoli after domestic processing. *Food Addit. Contam.* 23: 1088-1098 (2006)
  18. Miglio C, Chiavaro E, Visconti A, Fogliano V, Pellegrini N. Effects of different cooking methods on nutritional and physico-chemical characteristics of selected vegetables. *J. Agr. Food Chem.* 56: 139-147 (2008)
  19. Vallejo F, Tomas-Barberan F, Garcia-Viguera C. Glucosinolates and vitamin C content in edible parts of broccoli florets after domestic cooking. *Eur. Food Res. Technol.* 215: 310-316 (2002)
  20. Goodrich RM, Anderson JL, Stoewsand GS. Glucosinolate changes in blanched broccoli and brussels sprouts. *J. Food Process. Pres.* 13: 275-280 (1989)
  21. Wathelet JP, Mabon N, Foucart M, Marlier M. Influence of blanching on the quality of Brussels sprouts (*Brassica oleracea* L. cv. gemmifera). *Sci. Aliment.* 16: 393-402 (1996)
  22. Oerlemans K, Barrett DM, Suades CB, Verkerk R, Dekker M. Thermal degradation of glucosinolates in red cabbage. *Food Chem.* 95: 19-29 (2006)
  23. Verkerk R, Dekker M, Jongen WMF. Post-harvest increase of indolyl glucosinolates in response to chopping and storage of *Brassica* vegetables. *J. Sci. Food Agr.* 81: 953-958 (2001)
  24. Benner M, Geerts RFR, Linnemann AR, Jongen WMF, Folstar P, Cnossen HJ. A chain information model for structured knowledge management: Towards effective and efficient food product improvement. *Trends Food Sci. Tech.* 14: 469-477 (2003)
  25. Nyman M, Palsson KE, Asp NG. Effects of processing on dietary fibre in vegetables. *LWT-Food Sci. Technol.* 20: 29-36 (1987)
  26. Nugrahi PY, Verkerk R, Widanarko B, Dekker M. A mechanistic perspective on process-induced changes in glucosinolate content in *Brassica* vegetables: A review. *Crit. Rev. Food Sci.* 55: 823-838 (2015)
  27. Kim GH. Determination of vitamin U in food plants. *Food Sci. Technol. Int.* 9: 3 16-319 (2003)
  28. Cho SD, Lee HH, Kim MS, Kim GH. Determination of SMM in *Brassica* vegetables by high performance liquid chromatography. *Plant Resource Res. Inst.* 12: 21-34 (2012)
  29. Zhang D, Hamauzu Y. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chem.* 88: 503-509 (2004)
  30. Wachtel-Galor S, Won KW, Benzie IFF. The effect of cooking on *Brassica* vegetables. *Food Chem.* 110: 706-710 (2008)
  31. Faller ALK, Fialho E. The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking. *Food Res. Int.* 42: 210-215 (2009)
  32. Pellegrini N, Chiavaro E, Gardana C, Mazzeo T, Contino D, Gallo M, Riso P, Fogliano V, Porrini M. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen *Brassica* vegetables. *J. Agr. Food Chem.* 58: 4310-4321 (2010)
  33. Ng ZX, Chai JW, Kuppasamy UR. Customized cooking method improves total antioxidant activity in selected vegetables. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 62: 158-163 (2011)
  34. Harbaum B, Hubbermann EM, Zhu Z, Schwarz K. Impact of fermentation on phenolic compounds in leaves of pak choi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *communis*) and Chinese leaf mustard (*Brassica juncea* Coss). *J. Agr. Food Chem.* 56: 148-157 (2008)