한국식생활문화학회지 33(1): 78-85, 2018
J. Korean Soc. Food Cult. 33(1): 78-85, 2018
본 논문의 저작권은 한국식생활문화학회에 있음.
Copyright © The Korean Society of Food Culture

ISSN 1225-7060(Print)
ISSN 2288-7148(Online)
https://doi.org/10.7318/KJFC/2018.33.1.78

다양한 열처리 조건에 따른 우엉뿌리의 항산화 활성

박미영[1] · 박예옥[2] · 박영현[2,*]
[1]순천향대학교 교육대학원 영양교육전공, [2]순천향대학교 식품영양학과

Antioxidant Activities of Burdock Root (*Arctium lappa* L.) with Various Heat Treatment Conditions

Mi-Young Park[1], Ye-Oak Park[2], Young-Hyun Park[2,*]
[1]*Department of Food & Nutrition Education, Graduate School of Education, Soonchunhyang University*
[2]*Department of Food Science and Nutrition, College of Natural Sciences, Soonchunhyang University*

Abstract

This study examined the changes in antioxidant activity and contents of phenolic compounds inblanched, steamed, and autoclaved burdock root (BR). The total polyphenolic and flavonoids contents of raw and cooked BR were determined spectrophotometrically. The antioxidant activity of BR was measured using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), and oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assays. The main phenolic compounds in BR were quantified by HPLC (high performance liquid chromatography). Both blanching and steaming treatments significantly increased the antioxidant activities of BR in all groups (5 min, 15 min, and 30 min), whereas in autoclaving treatment, the 30 min treatment only showed an increase in the antioxidant activities of BR. The 30 min blanched BR exhibited the strongest DPPH and ABTS radical scavenging activities and possessed the highest total polyphenol and flavonoid phenolic contents. The 15 min-steamed BR showed the highest ORAC value. The main phenolic compound of the 15 min-steamed BR was CGA (chlorogenic acid). These results suggest that heat cooking methods, such as blanching and steaming, improve the antioxidant activity of BR by increasing the concentration of phenolic compounds.

Key Words: Antioxidant activity, 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), burdock root, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, oxygen radical absorbance capacity

I. 서 론

활성산소종(reactive oxygen species, ROS)은 모든 생명체에서 일반적인 대사과정 및 여러 요인에 의해 지속적으로 발생하는 것으로, 원래 세균이나 바이러스의 감염 시에 마이크로파지의 병원체 방어 기작을 비롯하여 생체 방어에 관여하는 등 건강을 유지하는데 중요한 역할을 한다(Beckman & Ames 1998). 하지만 체내에서 과도하게 발생되는 활성산소종은 구조적으로 매우 불안정하여 체내의 불포화지방산과 지질 및 콜레스테롤을 산화시킴으로써 과산화지질을 생성하게 되고 이는 인체 내 세포를 파괴하고 혈관벽에 부착되어 혈류의 흐름을 방해하거나 혈관을 손상시켜 뇌졸중, 알츠하이머, 심장질환, 동맥경화, 당뇨, 암 등의 다양한 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다(Verckei et al. 1992). 이에 활성산소종에 의한 과도한 산화적 스트레스로 인해 유발되는 건강상의 문제를 해결할 수 있는 물질로서 항산화제에 대한 관심이 지속적으로 집중되고 있다. 이러한 관심은 합성된 약물보다는 식물 유래의 페놀성 화합물과 같은 안전한 천연 항산화 물질에 대해 집중되고 있다(Ito et al. 1983). 식품의 항산화활성은 여러 가지 방법에 의해 평가되고 있는데, 평가방법에 따라 항산화 물질의 라디칼 소거 또는 억제 기전이 다르게 작용하는 것으로 알려져 있고, 이로 인해 항산화 활성에 차이가 있다. 식품의 항산화 활성 평가를 위해 가장 일반적으로 사용되는 방법에는 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyll (DPPH) assay, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) assay 및 oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay 등이 있다. DPPH assay와 ABTS assay는 자유기(free radical) 소거에 의한 흡광도 변화를 측정하는 것으로 인위적으로 색을 띄는 라디칼이 항산화물질에 의해 환원되면서 탈색되는 특성을 이용하여 분석하는 방법이다(Re

*Corresponding author: Young-Hyun Park, Department of Food Science and Nutrition, College of Natural Sciences, Soonchunhyang University, Asan, Chungnam 336-745, Korea Tel: +82-41-530-1259 Fax: +82-41-530-1259 E-mail: phy012@sch.ac.kr

et al. 1999; Braca et al. 2001). ORAC assay는 식품의 total antioxidant capacity(TAC)를 양적으로 측정하여 자유기에 의해 유도되는 손상으로부터 항산화 물질에 의한 보호능력을 측정하는 방법으로 최근 외국에서 공식 실험 방법으로 선택되고 있는 추세이다(Kwak et al. 2006).

우엉(Burdock, *Arctium lappa* L.)은 국화과의 두해살이풀로, 원산지는 유럽, 시베리아, 중국 및 한국 등으로 알려져 있으며, 국내에서는 경상남도를 중심으로 대량 재배되고 있다. 우엉은 오래 전부터 잎, 종자, 뿌리를 약재로 사용되고 있고, 식용으로는 특히 뿌리를 널리 사용하는데, 특유의 향기가 있고 씹는 맛이 좋아 어린 순을 삶아 먹거나 뿌리를 소금에 절이거나, 식초에 데친 것, 또는 간장에 졸인 것을 식용하고 있다(Han & Koo 1993). 우엉의 영양성분으로는 100 g당 기준으로 수분 70-80%, 단백질 1-3%, 지질 0.1%, 당질 14-18%, 섬유소 1-2%, 회분 0-0.3%로 구성되어 있고, 당질의 대부분은 이눌린의 형태로 존재한다(Han & Koo 1993). 우엉의 기능성에 대한 선행 연구로는 우엉뿌리의 항혈전, 항산화, 항염증 및 항돌연변이 등이 발표된 바 있으며(Park et al. 1992; Kim et al. 2012; Kim et al. 2014), 이러한 기능성으로 인해 비만, 대장암, 게실염, 고혈압, 통풍, 동맥경화증 및 간염 등 다양한 생리적 기능이 있는 것으로 보고되고 있다(Ferracane et al. 2010; Lee 2011; Im & Lee 2014). 현재까지 알려진 우엉의 주된 기능성 성분으로는 chlorogenic acid, caffeic acid 등의 caffeoylqunic acid 유도체와 cynarin, arctiin, arctigenin, quercetin 등의 phenolic compounds가 있다(Maruta et al. 1995; Ferracane et al. 2010).

식품의 영양성분 및 생리활성물질은 다양한 조리방법에 따라 성분의 함량과 구조가 변화하면서 효능이 달라지므로, 조리방법에 따른 영양성분의 손실을 최소화할 수 있는 최적의 조리방법을 찾는 일이 매우 중요하다. 우엉의 유효성분과 생리활성에 대한 연구는 다수 발표되고 있는 것에 비해 이의 유효성분을 유지하거나 증가시킬 수 있는 열처리 조건, 가공방법에 대한 연구, 조리 또는 가공 후의 생리활성 변화에 대한 연구는 극히 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 데치기, 찌기, 고온고압을 이용한 다양한 열처리 조리 조건에 따른 우엉의 항산화 활성 변화를 측정하고, HPLC(high performance liquid chromatography) 분석을 통해 생리활성을 갖는 페놀성 화합물들의 함량 변화를 분석・확인하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 실험재료 및 시약

본 연구에 사용한 우엉뿌리는 경남 창녕에서 2014년에 수확한 것을 구입하였다. 재료는 구입한 당일 사용하였으며 껍질을 제거하지 않은 상태로 흐르는 물에 2-3회 수세하고 물기를 제거한 뒤 조리하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용한 모든 시약은 특급 또는 HPLC 분석급 시약을 구입하여 사용하였다.

2. 조리방법

우엉의 가식부위를 5 cm×0.5 cm×0.5 cm (가로×세로×높이)로 잘라 골고루 섞은 후 시간별로 데치기(blanching), 찌기(steaming), 고압멸균기(autoclave)를 이용한 열처리 방법(pressure cooking)으로 조리하였고, 조리하지 않은 상태의 우엉을 대조군으로 사용하였다. 데치기 방법은 증류수를 냄비에 붓고 끓을 때까지 가열한 후, 물이 끓기 시작하면 우엉을 넣고 5, 15, 30분간 데친 후 체로 건져 물기를 제거하였다. 증기에 의한 찌기 방법은 찜기에 증류수를 붓고 끓이다가 김이 올라오기 시작하면 우엉을 넣고 5, 15, 30분 동안 찐 후에 체로 건져 물기를 제거하였다. 고온고압 압력 찌기는 우엉을 고압멸균기에 넣고 121°C에서 5, 15, 30분간 열처리하였다.

시간을 달리하여 각각의 조리법에 따라 조리가 끝난 우엉은 물기를 제거하고 열기를 식힌 다음 동결 건조기에서 7일간 건조한 후 500 μm 이하로 분쇄하고 −80°C에서 보관하여 실험에 사용하였다.

3. 추출방법

조리조건에 따른 우엉의 가식부위를 동결 건조하여 분말화한 시료에 최종농도가 20 mg/mL이 되도록 증류수를 가하여 진탕수욕(70°C) 상에서 10분간 초음파처리한 후 20분간 추출하고, 3000 rpm에서 원심 분리하여 상층액을 분리한 후 0.45 μM membrane filter로 여과하여 감압 농축한 후 동결건조하여 사용하였다.

4. 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 시약을 이용하는 Ainsworth와 Gillespie(2007) 방법에 따라 우엉의 페놀 화합물에 의해 환원된 결과 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 분석하였다. 시료 300 μL (10 mg/mL)와 Folin-Ciocalteu's phenol 시약 300 μL를 혼합하여 실온에서 3분간 방치한 후 5% Na_2CO_3 포화용액 300 μL을 첨가하여 실온에서 1시간 반응시켰다. 반응 후 SUNRISE (A-5082, Tecan Genios, Grodig, Austria)를 이용하여 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준물질로는 tannic acid를 사용하였고 이의 표준곡선을 구하여 총 페놀 함량을 구하였으며 측정단위로 mg TAE (Tannic Acid Equivalent)를 사용하였다.

5. 총 플라보노이드 함량 측정

우엉의 총 플라보노이드 함량은 Zhishen et al.(1999)의 방법을 변형하여 측정하였다. 시료 250 μL (10 mg/mL)에 증류수 2.5 mL과 5% $NaNO_2$ 75 μL를 혼합하여 5분간 방치한

후 10% $AlCl_3$ 150 μL를 가하여 6분간 반응시켰다. 그 후 1 N NaOH 500 μL를 넣고 37°C에서 10분간 반응시킨 후 415 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 quercetin을 이용하여 구하였으며, 측정단위는 mg QE (Quercetin Equivalent)를 사용하였다.

6. DPPH 라디칼 소거활성 평가

조리조건을 달리한 우엉 추출물의 DPPH 라디칼 소거 활성 실험은 Blois(1958)의 방법에 따라 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyll (DPPH)에 대한 전자공여능으로 추출시료에 대한 환원력을 측정하였다. 즉, 300 μg/mL의 우엉 추출물과 0.2 mM DPPH 용액을 동량으로 혼합한 다음 실온에서 20분간 반응시킨 후 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군으로는 L-ascorbic acid를 사용하였으며, 다음의 식을 이용하여 결과를 산출하였다.

DPPH 라디칼 소거능 (%)
=(1–시료첨가구의 흡광도/시료무첨가구의 흡광도)×100

7. ABTS 라디칼 소거활성 측정

ABTS 라디칼 소거활성 측정은 potassium persulfate와의 반응에 의해 생성되는 ABTS 라디칼이 시료내의 항산화 물질에 의해 소거되어 라디칼 특유의 색인 청록색이 탈색되는 것을 이용한 방법으로 Takeayashi et al.(2010)의 방법을 변형하여 측정하였다. ABTS 7.00 mM와 potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) 2.45 mM를 혼합하여 실온 암소에서 24시간 동안 반응하여 $ABTS^{\bullet+}$을 형성시킨 후 734 nm에서 흡광도 값이 0.9(±0.02)가 되도록 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 라디칼 용액 900 μL에 우엉 추출물 100 μL (3 mg/mL)를 가하여 혼합하고 암소에서 30분간 반응시킨 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 대조군은 trolox를 사용하였으며, 다음의 식을 이용하여 결과를 산출하였다.

ABTS 라디칼 소거능(%)
={1–(시료첨가구의 흡광도/시료무첨가구의 흡광도)}×100

8. ORAC value 측정

총 항산화능 측정에 널리 사용되고 있는 ORAC assay는 Ou et al.(2001)의 방법을 변형하여 측정하였다. 우엉추출물은 증류수에 녹여 100 μg/mL의 농도가 되도록 제조하고 peroxy radical의 생성과 소멸에 의한 fluorescence의 감소율을 측정하여 ORAC value를 측정하였다. 시료 25 μL에 75 nM의 fluorescein 150 μL을 첨가하고, 즉시 125 mM AAPH 25 μL를 첨가하였다. 자유기(free radical)에 의한 fluorescein의 감소는 37°C에서 excitation wavelength 485 nm, emission wavelength 535 nm에서 매 2분마다 180분 동안 측정하였다. 표준물질로는 trolox를 사용하였으며, 시료의 저해 능력은 mg TE (Trolox Equivalent)로 표현하였으며, 시료의 AUC (area under curve)는 표준곡선에 의해 정량하였다.

<Table 1> HPLC coditions for the analysis of antioxidant compounds

Items	Conditions
Instrument	SHIMADZU LC-20AD
Column	YMC-Pack C18, 4.6×250 mm
Column Temperature	35°C
Flow Rate	0.5 mL/min
Wavelength	280 nm
Mobile Phase	ACN : Water=20:80 (containing 0.5% phosphoric acid)
Injection volume	10 μL
Time	40 min

9. HPLC 분석

조리조건별 우엉추출물을 10 mgmL/이 되도록 HPLC용 물을 이용하여 용해한 후, 0.45 membrane filter로 여과한 여액을 HPLC 분석용 검액으로 사용하였다. HPLC의 분석 조건은 <Table 1>과 같다.

10. 통계 분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실시하였으며, 이상의 실험에서 얻어진 결과는 SPSS (version 19.0, SPSS Institute Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하여 One Way ANOVA test로 분석하였으며 Duncan's multiple rang test를 이용하여 $p<0.05$ 수준에서 시료간의 유의적 차이를 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

우엉의 항산화능 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔지만 대부분 유기용매 추출물에 대한 연구결과이다. 본 연구는 식문화를 반영하고자 유기용매가 아닌 물을 사용하여 다양한 가열 과정에 따른 우엉의 항산화능을 검증하였으며 그에 따른 결과는 다음과 같다.

1. 조리조건에 따른 우엉뿌리의 총 페놀성 화합물 함량 변화

식물체 내의 폴리페놀과 플라보노이드는 자유라디칼 소거능과 항산화능을 갖는 것으로 알려져 있다(Mustafa et al. 2010). 조리방법과 시간에 따른 우엉뿌리의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 <Table 3>에 나타내었다. 조리하지 않은 우엉뿌리의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 각각 10.80, 19.68 mg/g이었으며, 이는 고온고압 15분 과정을 제외한 모든 조리과정에서 그 함량이 유의적으로 증가하였다 ($p<0.05$)<Table 2>. 특히 데치기 과정의 경우 시간이 경과함에 따라 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 점점 증가하

<Table 2> Total polyphenol and total flavonoid contents of burdock according to cooking conditions

Sample		Contents (mg/g)	
		Total Polyphenol (mg TAE/g[1)])	Total Flavonoid (mg QE/g[2)])
Non cooked BR[3)]		10.80±0.33[c4)]	19.68±0.30[c]
Blanched BR	5 min	24.34±0.29[e]	22.47±0.28[e]
	15 min	28.95±0.32[f]	32.84±0.29[g]
	30 min	44.12±0.47[j]	40.32±0.25[h]
Steamed BR	5 min	31.10±0.75[g]	27.87±0.15[f]
	15 min	40.49±0.18[i]	32.34±0.35[g]
	30 min	36.93±0.77[h]	22.73±0.20[e]
Autoclaved BR	5 min	6.02±0.37[a]	10.11±0.25[a]
	15 min	9.08±0.18[b]	15.28±0.24[b]
	30 min	19.09±0.33[d]	21.68±0.31[d]

[1)]Total Polyphenol contents was expressed as TAE (tannic acid equivalent) per gram.
[2)]Total Flavonoidl contents was expressed as QE (quercetin equivalent) per gram.
[3)]Burdock root
[4)]The results represent the mean±SD of values obtained from three measurements. Different superscripts in a column indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's test.

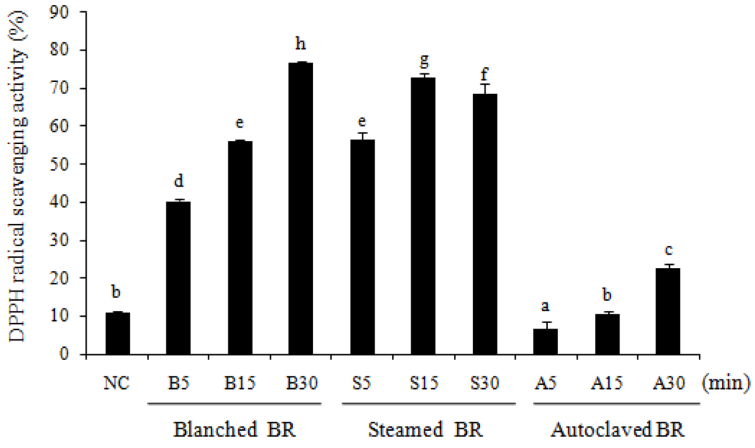
였으며, 데치기 30분 조건에서는 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 각각 44.12, 40.32 mg/g로 모든 처리군 중 가장 높은 수치를 나타내었다.

2. 조리조건에 따른 우엉뿌리의 DPPH 라디칼 소거능 변화

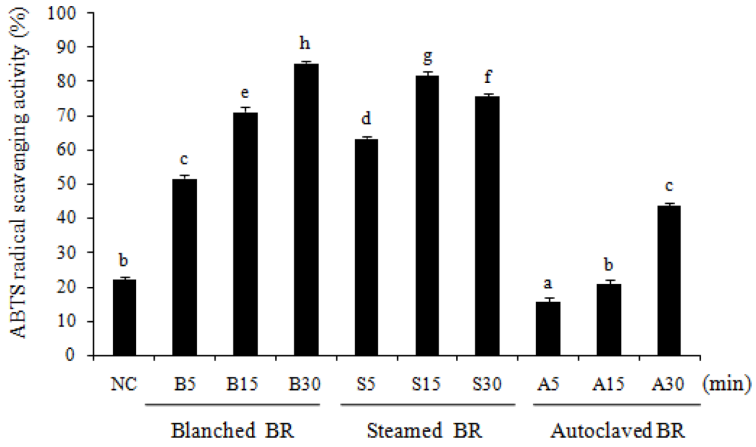
유해산소라고도 불리우는 자유 라디칼은 강한 반응성으로 인해 식품 및 생물체 조직의 세포를 손상시키는 역할을 하며, 이러한 이유 때문에 항산화능 중 라디칼 소거능은 매우 중요하다. DPPH 라디칼은 보라색의 화합물로 항산화활성 물질과 반응하여 환원이 되면 노란색으로 탈색되는 독특한 광흡수를 가지고 있으며, DPPH 라디칼 소거능은 다양한 화합물과 식품소재의 자유라디칼 소거능을 측정하는데 가장 보편적으로 사용되는 실험방법 중 하나이다(Erdemoglu et al. 2009). 우엉뿌리의 DPPH 라디칼 소거능 결과는 <Figure 1>과 같다. 데치기는 시간이 경과함에 따라 DHHP 라디칼 소거능이 점점 증가하여 5분에서 40.30%, 15분에서 56.07%이었으며, 30분은 76.58%로 가장 높게 나타났다. 찌기의 경우 5분, 15분, 30분의 DHHP 라디칼 소거능은 각각 56.38, 72.72, 68.55%로 나타나 15분 이후로는 활성이 감소하였다. 고온고압 처리의 경우는 5, 15, 30분에서 각각 6.55, 10.53, 22.43%으로 나타났다<Figure 1>. 이상의 결과, 우엉뿌리는 데치기 30분과 찌기 15분에서 높은 DPPH 라디칼 소거능 효과가 있음을 확인하였다. 가열에 따른 라디칼 소거능의 변화는 선행연구의 결과가 일치하지 않는다. Duh(1998)는 다양한 용매 추출물 중 물 추출물의 수율과 항산화능이 가장 높았으며, 물과 열수 추출물의 DPPH 소거능에는 유의적 차이가 없었다고 발표한 바 있다. 한편 Yamaguchi et al. (2001)의 연구에서는 가열 시간이 증가함에 따라 우엉의 DPPH 라디칼 소거능이 증가하였다. 이 두 연구에서는 가열시간이 5분 이내로 가열시간이 짧아 가열에 따른 결과변화가 상이하게 도출된 것으로 사려된다. 최근 Lee et al.(2017)은 우엉뿌리를 30분 이상 로스팅하여 가열한 결과 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능이 증가했다고 발표한 바 있어 가열시간이 충분할 경우 항산화능이 증가하는 것으로 보인다. Predes et al.(2011)의 연구에 의하면 우엉의 다양한 추출물 중 70% 에탄올 추출물에서 가장 뛰어난 DPPH 라디칼 소거능을 보였으며, 이 추출물에는 quercetin, arctigenin, CGA 및 CA 등이 존재한다고 발표한 바 있다.

3. 조리조건에 따른 우엉뿌리의 ABTS 라디칼 소거능 변화

ABTS 라디칼 소거능은 ABTS 양이온 라디칼이 항산화 물질과 반응하여 감소되면서 청록색에서 무색으로 탈색되는 원

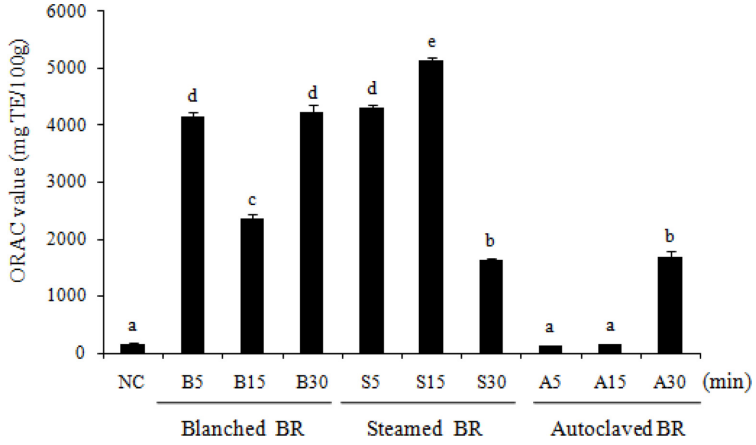


<Figure 1> DPPH radical scavenging activity of budock root.
The values are expressed as the mean±standard deviation of three replicates. Mean values followed by different superscripts in a bar indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's test. NC: non-cooked burdock root, BR: burdock root.



<Figure 2> ABTS radical scavenging activity of budock root.

The values are expressed as the mean±standard deviation of three replicates. Mean values followed by different superscripts in a bar are significantly different ($p<0.05$). NC: non-cooked burdock root, BR: burdock root.



<Figure 3> ORAC value activity of budock root.

The values are expressed as the mean±standard deviation of three replicates. Mean values followed by different superscripts in a bar are significantly different ($p<0.05$). NC: non-cooked burdock root, BR: burdock root.

리에 기초한 방법으로 시료의 항산화활성을 측정하는데 사용된다. 조리방법 및 시간을 달리하여 우엉뿌리의 ABTS 라디칼 소거능을 측정한 결과, 데치기 5분, 15분, 30분은 각각 51.68, 71.18, 85.39%로 시간 의존적으로 증가하였으며, 찌기의 경우 5, 15, 30분에서 각각 63.34, 81.88, 75.71%로 나타나 15분간 찐 우엉뿌리에서 가장 높은 항산화 활성을 보였고, 이후로 활성이 감소하였다<Figure 2>. 고온고압 처리의 경우는 5, 15, 30분에서 각각 15.52, 20.84, 43.87%의 라디칼 소거능을 보였다<Figure 2>. ABTS 라디칼 소거능 결과는 DPPH 라디칼 소거능 결과와 유사하게 데치기 30분과 찌기 15분에서 가장 높은 라디칼 소거능을 보였으며, DPPH 라디칼 소거능 보다 약간 높은 항산화 활성을 나타내었다. 이는 ABTS 라디칼 소거능의 경우 친수성 및 소수성 시료의 라디칼 소거능을 모두 측정할 수 있기 때문에 다른 항산화 측정값보다 약간 높은 수치를 보이는 것으로 사려된다. 총 페놀성 화합물의 함량이 가장 많은 데치기 30분의 경우 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능이 우수한 것으로 나타났으며, 이는 우엉뿌리의 페놀성 화합물이 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능에 기여했음을 의미한다.

4. 조리조건에 따른 우엉뿌리의 ORAC value 변화

ORAC value를 측정하는 것은 이미 생성된 페록시 라디칼(peroxyl radical, ROO·)을 빠르게 소거하는 연쇄절단형 항산화제(chain-breaking antioxidants)의 활성을 측정하는 방법이다. 따라서 ORAC value는 페록시 라디칼 소거능이라고 할 수 있다. ORAC value로 측정한 우엉뿌리의 항산화능은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 찌기 15분에서 가장 높은 활성을 나타냈다. 데치기의 경우 5, 15, 30분에서 각각 4158.93, 2360.68, 4226.33 mgTE/100 g으로 나타났으며 30분 군에서 가장 높은 활성을 보였다. 찌기의 경우는 5, 15, 30분에서 각각 4307.29, 5130.94, 1626.42 mgTE/100 g으로 나타나 DPPH, ABTS 전자공여능 결과와 유사하게 15분간 찐 우엉

<Table 3> Phenolic compounds contents of burdock according to cooking conditions.

		Contents (mg/100 g)		
		GA[1)]	CGA[2)]	CA[3)]
Non cooked BR[4)]		132.89±3.85[f,5)]	123.75±3.82[a]	9.32±1.87[bc]
Blanched BR	5 min	47.34±0.74[a]	335.31±4.77[d]	12.73±0.64[c]
	15 min	62.79±3.78[d]	410.04±3.82[f]	14.58±1.20[d]
	30 min	79.03±2.49[d]	327.04±0.90[c]	21.01±2.40[e]
Steamed BR	5 min	58.71±0.81[b]	376.23±2.18[e]	7.70±0.07[b]
	15 min	69.50±2.28[c]	466.05±1.00[h]	12.13±0.29[c]
	30 min	58.34±0.28[b]	449.40±3.18[g]	7.63±0.09[b]
Autoclaved BR	5 min	45.39±2.58[a]	-[6)]	0.44±0.12[a]
	15 min	86.99±1.73[e]	-	0.50±0.19[a]
	30 min	82.05±4.87[de]	175.07±3.80[b]	13.91±2.73[cd]

[1)]Gallic acid
[2)]Chlorogenic acid
[3)]Caffeic aicd
[4)]Burdock root
[5)]The results represent the mean±SD of values obtained from three measurements. Different superscripts in a column indicate significant differences at $p<0.05$ by Duncan's test.
[6)]No detectable

뿌리에서 가장 높은 항산화 활성을 보였고, 이후로 활성이 감소하였다<Figure 3>. 고온고압 처리의 경우 5분, 15분, 30분에서 각각 120.00, 144.00, 1694.16 mgTE/100 g로 나타나 다른 항산화능과 유사하게 데치기와 찌기보다 그 활성이 낮음을 알 수 있었다<Figure 3>. ORAC value는 찌기 15분 군이 가장 높은 활성을 나타내었다<Figure 3>. 본 연구에서는 찌기 15분의 경우 가장 높은 페록시 라디칼 소거능을 보였다. 따라서 찌기 15분의 경우 DHHP, ABTS 및 페록시 라디칼 소거활성 모두 우수함을 알 수 있었다.

5. 조리조건에 따른 우엉뿌리의 페놀 화합물 함량 변화

우엉뿌리에 함유되어 있는 페놀 화합물에는 GA (gallic acid), CGA (chlorogenic acid), CA (caffeic acid) 등이 있는 것으로 알려져 있다(Saleem et al. 2009; Tezuka et al. 2013). 본 연구에서는 HPLC를 이용하여 우엉뿌리에 함유되어 있는 GA, CGA, CA를 정량분석하였으며 그 결과는 <Table 2>와 같다. GA의 경우 데치기, 찌기, 고온고압 등의 모든 처리과정을 통해 그 함량이 유의적으로 감소한 반면 CGA 함량은 고온고압 15분 군을 제외한 모든 군에서 유의적으로 증가하였다($p<0.05$)<Table 3>. 특히 찌기 15분의 경우 조리하지 않은 우엉뿌리보다 CGA의 함량이 3.77배로 증가하였다<Table 3>. CA는 조리과정을 거쳐 증가하는 경향을 보였다. 통계상 유의적으로 증가한 군은 데치기 15분과 데치기 30분 군으로 각각 1.56배, 2.25배 증가하였다($p< .05$) <Table 3>. 따라서 우엉뿌리는 가열 조리과정을 통해 GA는 감소하는 반면, CGA는 증가함을 알 수 있었다. 이는 함량이 증가된 CGA에 의해 자유 라디칼 소거능이 증가되었음을 의미한다. 특히 찌기의 항산화능은 주로 CGA에 의해 기인하는 것으로 보인다. Chen et al.(2004)은 우엉의 항산화능은 껍질의 주요 페놀 화합물인 CGA와 CA에 기인한 것이며, 특히 CGA는 CA보다 껍질에 다량 함유되어 있고 비타민 E보다 항산화능이 뛰어나다고 발표한 바 있다. 이러한 결과는 우엉뿌리의 페놀성 화합물의 함량과 자유 라디칼 소거능과 관련성이 있음을 의미하는 것으로 총 페놀성 화합물의 함량과 자유 라디칼 소거능 사이에 양의 상관성이 있다는 선행연구과 그 결과가 일치한다(Gursoy et al. 2009).

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 가열을 이용한 조리법 중 데치기, 찌기 및 고온고압 압력 찌기를 이용하여 우엉뿌리를 처리하고 이의 총 페놀 화합물 함량 및 항산화 활성을 비교하였다. 또한 HPLC 분석을 통해 생리활성을 갖는 페놀성 화합물들의 함량 변화를 분석· 확인하였다. 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 조리조건에 따른 우엉뿌리의 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량을 분석한 결과, 조리하지 않은 시료에 비해 조리과정을 거친 대부분의 시료에서 그 함량이 증가함을 확인하였다. 조리조건 중 데치기와 찌기의 모든 군에서 유의적으로 그 함량이 증가하였으며($p<0.05$), 고온고압 처리군의 경우는 30분 시료만 그 함량이 증가하였다($p<0.05$). 다양한 조리조건 중 데치기 30분과 찌기 15분 처리군에서 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 가장 높았다($p<0.05$).

둘째, 조리조건을 달리한 우엉뿌리의 DPPH 및 ATBS 라디칼 소거능은 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 결과와 유사한 경향을 보였다. 데치기의 경우 시간 의존적으로 그 활성이 증가하여 30분 군에서 가장 높은 라디칼 소거능을 보

였으며($p<.05$), 찌기의 경우는 15분 군에서 최대 활성을 보였다($p<0.05$). 반면 고온고압 처리의 경우 30분 군에서만 유의적으로 증가하였다($p<0.05$). DPPH 및 ATBS 라디칼 소거능 역시 데치기 30분과 찌기 15분 군에서 가장 높은 활성을 나타내었다($p<.0.05$).

셋째, ORAC value는 찌기 15분 군에서 가장 높은 수치를 나타내었다($p<0.05$). 고온고압 5분과 15분 군을 제외한 모든 군에서 조리하지 않은 우엉뿌리 보다 ORAC value가 증가하였으나, 데치기의 경우 시간 의존적인 경향은 보이지 않았다.

넷째, HPLC를 이용하여 우엉뿌리 내에 함유되어 있는 대표적인 페놀 화합물인 GA, CGA, CA를 정량한 결과, 찌기 15분의 경우 조리하지 않은 우엉뿌리보다 CGA의 함량이 3.77배로 증가하여 가장 높은 수치를 보였다($p<0.05$). 데치기 30분의 경우 CGA의 함량은 데치기 15분에 비해 감소하였지만 GA와 CA의 함량이 조리시간과 비례하여 증가하였다($p<0.05$).

이상의 결과를 종합하면, 우엉뿌리를 가열 조리했을 때 페놀성 화합물의 함량이 증가하여 라디칼 소거능과 같은 항산화능이 상승하는 것으로 나타났다. 고온고압 방법 보다는 데치기와 찌기가 항산화능이 우수하였다. 향후 다양한 조리법 및 가공방법을 이용한 폴리페놀 함량 증가에 대한 구체적인 연구가 필요하며, 이에 따른 생리활성이나 기능성 성분 변화에 대한 분석을 통해 다양한 식품 소재로의 활용 방안 연구가 필요하겠다.

감사의 글

본 연구는 순천향대학교 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

Ainsworth EA, Gillespie KM. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. Nat. Protoc., 2(4):875-877

Beckman KB, Ames BN. 1998. The free radical theory of aging matures. Physiol. Rev., 78(2):547-581.

Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature, 181:1199-1200

Braca A, De Tommasi N, Di Bari L, Pizza C, Politi M, Morelli I. 2001. Antioxidant principles from Bauhinia tarapotensis. J. Nat. Prod., 64(7):892-895

Chen FA, Wu AB, Chen CY. 2004. The influence of different treatments on the free radical scavenging activity of burdock and variations of its active components. Food Chemistry, 86(4): 479-484

Dasgupta N, De B. 2007. Antioxidant activity of some leafy vegetables of India: A comparative study. Food Chemistry, 101(2):471-474

Duh PD. 1998. Antioxidant activity of burdock (*Arctium lappa* Linné): Its scavenging effect on free-radical and active oxygen. JAOCS (Journal of the American oil chemists' society), 75(4):455-164

Erdemoglu N, Turan NN, Akkol EK, Sener B, Abacioglu N. 2009. Estimation of anti-inflammatory, antinociceptive and antioxidant activities of Arctium minus (Hill) Bernh. ssp. minus. J. Ethnopharmacol.. 121(2):318-323

Ferracane R, Graziani G, Gallo M, Fogliano V, Ritieni A. 2010. Metabolic profile of the bioactive compounds of burdock (*Arctium lappa*) seeds, roots and leaves. J. Pharm. and Biomed. Anal., 51(2):399-404

Gursoy N, Sihoglu-Tepe A, Tepe B. 2009. Determination of in vitro antioxidative and antimicrobial properties and total phenolic contents of Ziziphora clinopodioides, Cyclotrichium niveum, and Mentha longifolia ssp. typhoides var. typhoides. J. Med. Food, 12(3):684-689

Han SJ, Koo SJ. 1993. Study on the chemical composition in bamboo shoot, lotus root and burdock-free sugar, fatty acid, amino acid and dietary fiber contents. Korean J. Soc. Food Sci., 9(2):82-87

Im DY, Lee KI. 2014. Antioxdative Activity and Tyrosinase Inhibitory Activity of the Extract and Fractions from Arctium lappa Roots and Analysis of Phenolic compounds. Kor. J. Pharmacogn., 45(2):141-146

Ito N, Fukushima S, Hagiwara A, Shibata M, Oriso T. 1983. Carcinogenicity of butylated hydroxyanisole in F344 rats. J. Natl. Cancer Inst., 70(2):343-352

Kim MS, Lee YS, Sohn HY. 2014. Anti-thrombosis and anti-oxidative activity of the root of *Arctium lappa L*. Korean J. Food Preserv., 21(5):727-734

Kim YJ, Kang SC, Namkoong S, Choung MG, Sohn EH. 2012. Anti-inflammatory Effects by *Arctium lappa* L. Root Extracts through the Regulation of ICAM-1 and Nitric Oxide. Korean J. Plant Res., 25(1):1-6

Kwak HK, Blumberg JB, Chen CY, Milbury PE. 2006. Microplate-based oxygen radical absorbance capacity (ORAC) assay of hydrophilic and lipophilic compartments in plasma. Nutr. Sci., 9(1):48-54

Lee D, Kim CY. 2017. Influence of roasting treatment on the antioxidant activities and color birdock root tea. Prev. Nutr. Food Sci., 22(1):21-29

Maruta Y, Kawabata J, Niki R. 1995. Antioxidative

caffeolyquinic acid derivatives in the roots of burdock (Arcticum lappa L). J. Agric. Food Chem., 43(10):2592-2592

Mustafa RA, Abdul Hamid A, Mohamed S, Bakar FA. 2010. Total phenolic compounds, flavonoids, and radical scavenging activity of 21 selected tropical plants. J. Food Sci., 75(1):C28-35

Ou B, Hampsch-Woodill M, Prior RL. 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. J. Agric. Food Chem., 49(10):4619-4626

Park KY, Lee KI, Rhee SH. 1992. Inhibitory Effect of Green-Yellow Vegetables on the Mutagenicity in Salmonella Assay System and on the Growth of AZ-521 Human Gastric Cancer Cells. J. Korean Soc. of Food Nutr., 21(2):149-154

Predes FS, Ruiz AL, Carvalho JE, Foglio MA, Dolder H. 2011. Antioxidative and in vitro antiproliferative activity of Arctium lappa root extracts. BMC Complement Altern. Med., 23(11):25-29

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(9-10):1231-1237

Saleem A, Walshe-Roussel B, Harris C, Asim M, Tamayo C, Sit S, Arnason JT. 2009. Characterisation of phenolics in Flor-Essence--a compound herbal product and its contributing herbs. Phytochem. Anal., 20(5):395-401

Takebayashi J, Ishii R, Chen J, Matsumoto T, Ishimi Y, Tai A. 2010. Reassessment of antioxidant activity of arbutin: Multifaceted evaluation using five antioxidant assay systems. Informa. Healthcare Free Radical Research, 44(4):473-478

Tezuka Y, Yamamoto K, Awale S, Lia F, Yomoda S, Kadota S. 2013. Anti-austeric activity of phenolic constituents of seeds of Arctium lappa. Nat. Prod. Commun., 8(4):463-466

Verckei A, Toncsev H, Feher J, Hajdu E. 1992. Relationship between the extent of coronary artery disease and indicators of free radical activity. Clin. Cardiol., 15(9):706-707

Yamagichi T, Mizobuchi T, Kajikawa R, Kawashima H, Miyabe F, Terao J, Takamura H, Matoba T. 2001. Radical-scavenging activity of vegetables and the effect of cooking on their activity. Food Sci. Technol., 7(3):250-257

Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effect on superoxide radicals. Food Chem. 64(4):555-559

Received February 12, 2018; revised February 19, 2018; accepted February 21, 2018