

중국산 대두 (Heinong 48)의 페놀성 화합물 검출 및 항산화 효과

전 기 숙 · 서 윤 롱 · 박 신 인[¶]

가천대학교 식품영양학과[¶]

Identification and Antioxidative Effects of Phenolic Compounds from Chinese Soybean (Heinong 48)

Ki-Suk Jeon · Yun-Long Xu · Shin-In Park[¶]

Dept. of Food and Nutrition, Gachon University, Seongnam 461-701, Korea[¶]

Abstract

This study was performed to investigate the phenolic compounds content and antioxidative activity of methanol extract from Chinese soybean. The content of total phenolics and total flavonoids of Chinese soybean (Heinong 48) extract were 9.91 ± 0.57 GAE mg/g and 4.15 ± 0.39 QE mg/g, respectively. The antioxidative activities of Chinese soybean extract were significantly increased in a dose dependent manner on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging (IC_{50} values were 2.04 ± 0.16 and 3.31 ± 0.31 mg/mL, respectively). These results suggest that Chinese soybean may have great potential as a natural antioxidant source with health benefits.

Key words: phenolic compounds, antioxidative activity, Chinese soybean, DPPH, ABTS

I. 서 론

호흡을 하는 생명체에서는 에너지를 얻기 위한 전자 전달계의 최종 전자 수용체로 산소 분자를 이용하는데, 이 과정에서 자유 라디칼과 활성 산소종(reactive oxygen species)이 발생되며, 외부 물질을 해독하는 과정에서도 발생될 수 있다 (Aruoma OI 1994). 활성 산소종은 높은 반응성을 지니고 있어 체내에서 적절히 제거되지 못하면 산화적 스트레스를 유발하여 DNA를 손상시켜 암을 유발하거나, 단백질의 일부 아미노산을 carbonyl화 시켜서 노화, 관절염, 호흡기 질환 등을 유발하며, 지질 과산화를 유도하여 세포막을 파괴한다(Lai CS & Piette LH 1977; Halliwell B &

Aruoma OI 1991; Blackeman DP et al 1995).

생체 내에는 catalase, superoxide anion radical dismutase(SOD), glutathione peroxidase와 같은 항산화 효소계와 비타민 E, 비타민 A, 비타민 C, glutathione, 요산 등의 항산화 물질이 있어 산화적 스트레스로부터 보호 작용을 하는데, 활성 산소종이 체내의 항산화 방어 능력을 넘을 정도로 생성되면 산화적 스트레스가 유발된다(Halliwell B & Aruoma OI 1991). 한편, 활성 산소종은 식품에서도 산패와 독성 물질 생성 등 유해한 작용을 하므로, 식품 가공업계에서는 페놀계 합성 항산화제인 butylated hydroxyanisole(BHA)이나 butylated hydroxytoluene(BHT) 등을 사용하여 왔으나, 발암과 같은 독성 효과가 알려지면서 천연 항산화제에

¶ : 박신인, psin@gachon.ac.kr, 경기도 성남시 수정구 성남대로 1342, 가천대학교 식품영양학과

대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Ames BM 1983; Baardseth P 1989).

천연 항산화제 중 식물성 식품에 함유된 페놀성 화합물은 그 자체가 갖는 기능성과 안전성 측면에서 주목받고 있으며, 식품 및 생체 내에서 일차적으로 항산화 작용에 관여하고, 더 나아가 노화, 돌연변이 및 발암 과정 등에 관련이 있음이 보고되고 있다(Cheigh HS & Lee CY 1993). 페놀성 화합물은 식물의 종류, 조직의 부위, 계절, 품종 및 성숙도 등에 따라서 함유 물질 및 함량에 차이를 보고, 화학적 구조에 따라서 다양한 항산화성을 갖고 있으며, 환원당, 금속류, 단백질 등과 쉽게 반응하고, 이들의 산화는 catechol oxidase, laccase, peroxidase 등의 효소와 금속이온에 의하여 촉진된다(Lee CY 1991; Ho CT 1992).

대두(*Glycine max* (L.) Merrill)는 콩과(Fabaceae) 작물로 필수 지방산이 풍부하고, 필수 아미노산 조성이 우수한 단백질 급원으로 그 이용 유래가 깊다. 대두는 밥밀콩으로 직접 이용하거나, 두부나 두유, 콩나물, 콩기름 등의 2차 가공식품의 원료로 이용되거나, 된장, 간장, 고추장 등 전통 발효식품의 제조 원료로 이용되고 있다(홍은희 1995). 식생활이 심혈관계 질환과 암 등 사망의 주요 원인이 되는 만성질환의 발병에 큰 영향을 미치며, 대두 가공식품을 많이 섭취하는 동양인이 서구인에 비해 만성질환의 발병률이 낮다는 역학조사와 동물실험, 세포실험 결과에 힘입어 대두의 식품 영양학적 가치는 날로 증대되고 있다(Messina MJ et al 1994; Hawrylewicz EJ et al 1995; Herman C et al 1995; Lim SY 2007; Moon SH 2013).

대두에는 페놀성 화합물, 식이성 섬유소, 엽산, 단백질 분해효소 억제제, 사포닌, 올리고당 등의 기능성 성분이 존재한다(Anderson RI & Wolf WJ 1995; Coward L et al 1993; Kennedy AR 1995; Messina MJ et al 1994). 대두에 함유된 페놀성 화합물은 플라보노이드, 이소플라본, 페놀산, 리그난 등이 있으며, 페놀 구조의 수산기를 이용하여

자유 라디칼에 수소나 전자를 공여함으로써 항산화 활성을 보이므로, 산화적 손상으로부터 세포를 보호하여 심혈관계 질환과 암 등의 질병을 예방할 수 있는 것으로 알려져 있다(Kurzer MS & Xu X 1997).

우리나라는 대두 및 대두 가공식품의 소비량이 높아 2013년 총 수요량은 126만 9천 톤, 1인당 연간 소비량은 8.0 kg에 달하였으나, 생산기반이 빈약하여 자급도가 9.7%로 낮은 실정으로 국내 생산은 12만 3천 톤에 불과하고, 115만 3천 톤을 미국, 아르헨티나, 중국 등지의 수입에 의존하고 있다. 국내의 대두 생산 면적과 생산량은 각각 1970년 35만 8천 ha와 27만 1천 톤이었던 것이 2013년 9만 6천 ha와 12만 3천 톤으로 감소한 반면, 중국은 전 국토에서 대두를 재배하고 있어 2011년 재배 면적과 생산량은 각각 1,065만 1천 ha와 1,908만 4천 톤이었다(농림축산식품부 2014).

최근 대두 가공식품 중 두부 시장의 규모가 지속적으로 증가하고 있는데, 국내에서 생산되는 비포장 두부는 대부분 중국산 수입콩을 사용하고 있으며, 그 이유로는 낮은 가격과 안정적인 물량 확보인 것으로 보고된 바 있다. 중국산 수입식품 안전성에 대한 소비자 인식 조사의 일환으로 원료 콩의 원산지과 친환경성을 고려한 선호도 분석 결과, 국내산 일반재배 콩으로 제조한 포장 두부를 구입하겠다는 응답자는 85.8%이었던데 반해, 중국산 유기재배 콩으로 제조한 포장 두부를 구입하겠다는 응답자는 14.2%로 나타나, 소비자는 원료 콩의 원산지를 친환경성보다 더 선호하였다(Choi SH et al 2011). 한편, 유전자 변형 식품에 대한 안전성 논란과 관련하여 콩나물의 원료 콩(국내산 55건, 중국산 41건)과 완제품(국내산 82건, 중국산 31건)의 유전자 변형 검사를 실시한 결과, 원료 콩에서는 단 한 건의 양성반응도 없었다(Yun SC 2004).

국내산 대두와 그 가공 및 발효 식품에 관한 연구는 대두 및 콩나물의 항산화 활성(Kim JY et al 1995; Hong JY et al 2014; Park CH et al 2014),

대두의 항노화(Ryu SH & Moon GS 2003) 및 혈관신생 저해효과(Jeon KS 2002), 된장의 항암 활성(Lee KI et al 2011), 청국장 항염증 개선 효과(Kim HG et al 2012), 콩다식의 품질 특성(Choi US et al 2010; Choi YS & Um YH 2013), 대두 분말 첨가량에 따른 어육 패티의 관능적 특성(Choi SK et al 2009), 탈지 대두 분말을 첨가한 설기떡의 품질 특성(Jhee OH 201) 등 다양하게 이루어졌다. 그러나 중국산 대두에 관한 연구는 이소플라본 함량 분석(Kim EM et al 2004; Lee JK et al 2005; Zheng J et al 2005)과 두부 가공적성(Na MO 2004) 등이 보고되었을 뿐, 항산화 활성 등의 생리활성과 그 기능성 성분에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이용 유래가 깊고 기능성 식품으로 주목받고 있는 대두 및 그 가공식품의 소비 증가와 국내 수급 부족, 저렴한 가격 등을 배경으로 원료 콩으로서 큰 비중을 차지하고 있으며, 유전자 재조합 기술을 사용하지 않고 재배하는 안전한 중국산 대두의 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량, 항산화 활성을 분석하여, 천연 항산화 소재로서의 활용 가능성에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료 및 시약

본 실험에 사용한 대두(Heinong 48)는 중국 북동지역에서 일반적으로 재배되는 고단백질 품종(Jie WG et al 2011)으로 대두 가공식품 제조에 적합하며, 유전자 재조합을 사용하지 않은 안전한 원료로서(Lei T 2013), 중국 산둥성에서 2013년 9월에 수확된 것을 현지에서 구매하여 분쇄기(Food mixer, HR2171, Artreal Manufacturing Ltd, Guangdong, China)로 50 mesh 크기로 분말화한 후 -20°C 에서 냉동보관하면서 실험에 사용하였다. 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성 측정에 사용된 시약인 Folin-Ciocalteu's reagent, gallic acid

(97.5%), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH), α -tocopherol(96.0%), butylated hydroxyanisole(BHA, 98.5%), butylated hydroxytoluene(BHT, 99.5%), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS, 98.0%), ascorbic acid는 Sigma(Sigma-Aldrich Co., Steinheim, Germany)로부터 구입하였고, quercetin(97.0%)은 HWI(HWI Analytik GmbH, Ruelzheim, Germany)로부터 구입하여 사용하였다.

2. 물리적 특성 분석

대두를 25°C 항온기에서 3일간 방치한 후 무작위로 100알씩 세어서 무게를 칭량하여 백립중을 측정하였으며, 마이크로 캘리퍼를 사용하여 길이와 폭을 측정하였다. 대두 분말 시료의 색도는 색차계(Color Difference Meter, JC801S, Daego Co., Korea)를 이용하여 Hunter scale에 의한 명도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b) 값으로 나타내었다.

3. 메탄올 추출물 제조

대두 분말 시료 중량의 5배량의 메탄올을 첨가하고, 25°C 에서 16시간 동안 3회 반복 추출하여 여과(Whatman No.1 filter paper)한 후, 여액을 40°C 에서 회전진공농축기(Eyela N-1NW, Rikakikai, Tokyo, Japan)로 감압 농축하여 dimethyl sulfoxide(DMSO)를 이용하여 회수한 후, -20°C 냉동고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

4. 페놀성 화합물 함량 분석

대두 메탄올 추출물의 총 페놀 함량은 Swain과 Hillis의 방법에 따라 측정하였다(Swain T & Hillis WE 1959). 일정 농도로 희석된 대두 메탄올 추출물 $50\ \mu\text{L}$ 에 2% sodium carbonate 용액 1 mL를 첨가하여 3분간 방치시킨 후, 50% Folin-Ciocalteu's reagent $50\ \mu\text{L}$ 를 첨가하여 30분 동안 반응시킨 후, 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 페놀 함량 분석은 gallic acid를 이용하여 작성한 표

준 검량선으로 부터 구하여, 건조 시료 g 중의 mg gallic acid equivalent(GAE)로 나타내었다.

대두 메탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량은 Dewanto 등의 방법을 변형하여 측정하였다(Dewanto V et al 2002). 일정 농도로 희석된 대두 메탄올 추출물 250 μ L에 증류수 1 mL, 5% sodium nitrite 용액 75 μ L를 첨가하여 5분간 방치시킨 후, 10% aluminum chloride 용액 150 μ L를 첨가하여 6분간 방치시켰다. 위 반응액에 1N sodium hydroxide 500 μ L를 첨가하여 11분간 반응시킨 후, 510 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드 함량 분석은 quercetin을 사용하여 작성한 표준 검량선으로 부터 구하여, 건조 시료 g 중의 mg quercetin equivalent(QE)로 나타내었다.

5. 항산화 활성 측정

DPPH 라디칼에 대한 전자 공여능은 Blois의 방법을 변형하여 측정하였다(Blois MS 1958). 일정 농도로 희석된 대두 메탄올 추출물 시료 0.2 mL와 에탄올에 용해시킨 0.2 mM DPPH 용액 0.8 mL를 진탕하고, 암소에서 30분간 방치한 후, 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 전자 공여능은 시료 첨가구와 무첨가구의 흡광도 감소율을 백분율로 나타내었으며, 시료 무첨가구의 흡광도에 대해 50% 흡광도 감소를 나타내는 시료의 농도를 IC₅₀으로 표시하였다. DPPH 라디칼 소거능의 반응속도론적(kinetics) 정상상태(steady state) 도달시간은 60분 동안 1분 간격으로 흡광도 변화를 관찰하였으며, 양성 대조군으로 ascorbic acid, α -tocopherol, BHA, BHT를 이용하였다.

ABTS 라디칼 소거능은 Roberta 등의 방법으로 측정하였다(Roberta R et al 1999). 7.4 mM ABTS

와 2.6 mM potassium persulphate를 혼합하고, 암소에서 하룻 동안 방치하여 양이온 라디칼 (ABTS^{•+})을 형성시킨 후, 735 nm에서 흡광도의 값이 1.5 이하가 되도록 희석하였다. 희석된 ABTS^{•+} 용액 1 mL에 일정 농도로 희석된 대두 메탄올 추출물 시료 50 μ L를 첨가한 뒤 30분 후 흡광도의 변화를 측정하였다. 항산화 활성은 시료 첨가구와 무첨가구의 흡광도 감소율을 백분율로 나타내었으며, 시료 무첨가구의 흡광도에 대해 50% 흡광도 감소를 나타내는 시료의 농도를 IC₅₀으로 표시하였다. 양성 대조군으로 ascorbic acid, α -tocopherol, BHA, BHT를 이용하였다.

6. 통계분석

실험결과는 SPSS 19.0 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 평균과 표준편차를 산출하고, 실험군 간의 차이 유무는 one-way ANOVA(analysis of variance)로 분석한 뒤, 신뢰 구간 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan의 다중범위 시험법(Duncan's multiple range test)으로 유의성 검정을 실시하였다.

Ⅲ. 연구결과 및 고찰

1. 물리적 특성

중국산 대두의 백립종과 장폭비는 각각 22.07 \pm 0.40 g과 1.00 \pm 0.01으로 나타났다(Table 1). 국내산 대두 25품종의 백립종은 12.1~27.1 g 범위로, 장엽콩, 새알콩, 장경콩, 태광콩은 25~31 g의 분포로 대립종, 단엽콩, 황금콩 등 19품종은 15~24 g의 분포로 중립종, 부광콩과 광안콩은 14g 이하로 소립종에 속하는 것으로 보고되었는데(So KH

<Table 1> Physical characteristics of Chinese soybean

Weight of 100 seeds (g)	Size (mm)			Hunter's color value of seed		
	Length (L)	Width (W)	L/W ratio	L	a	b
22.07 \pm 0.40	6.27 \pm 0.09	6.24 \pm 0.05	1.00 \pm 0.01	87.83 \pm 0.90	1.18 \pm 0.06	25.06 \pm 0.51

All values are mean \pm SD of triplicate determination.

et al 2000), 본 연구에 사용된 중국산 대두의 백립 중은 국내산 중립종과 유사한 것으로 나타났다. 한편, 재배국별 대두의 백립중 비교 연구에서 국내산, 중국산, 미국산의 백립중이 각각 22.8, 19.36, 15.36 g이었다는 보고(Na MO 2004)와 비교해 볼 때, 본 연구에 사용된 중국산 대두는 선행 연구 결과에 사용된 것보다 백립중이 큰 품종으로 국내산 대두와 유사한 결과를 나타내었다. Na MO (2004)는 국내산과 중국산 대두의 장폭비를 각각 1.06과 1.02로 보고하였는데, 이는 본 연구결과와 유사하였다.

중국산 대두의 색채는 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)가 각각 87.83±0.90, 1.18±0.06, 25.06±0.51로 분석되었다(Table 1). 이런 결과는 국내산 대두의 명도, 적색도, 황색도가 각각 84.40, 1.30, 20.10이었다는 보고(Lee HJ et al 1996)와 유사하였으나, 국내산 대두의 명도, 적색도, 황색도가 각각 52.10, 6.31, 32.80이었으며, 중국산 대두의 명도, 적색도, 황색도가 각각 61.96, 5.48, 30.42이었다는 보고(Na MO 2004)와는 차이를 보였으며, 이는 품종 및 재배 환경 등에 따른 차이에 기인한 것으로 생각된다.

2. 메탄올 추출물의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

항산화성 물질인 페놀성 화합물, 방향족 아민 등의 흡수가 일어나는 285 nm에서의 흡광도가 상온 추출(30℃, 24시간) 및 환류 추출(85℃, 3시간)에서 메탄올 추출물이 가장 높았다는 선행 연구(Kim JY et al 1995)를 토대로 중국산 대두의 메탄올 추출물의 페놀성 화합물 함량을 측정 한 결과, 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량은 각각 9.91±0.57 GAE mg/g과 4.15±0.39 QE mg/g이었다(Table 2). 이런 결과는 국내산 대두(진품콩 2호)의 80% 에탄올 추출물(50℃, 24시간)의 총 페놀 함량이 10.15±0.01 mg/g이었다는 보고(Jeon KS 2002)와 일치하는 것으로 나타났으며, 국내산 대두(쥐눈이콩)의 열수 추출물(85℃, 3시간)과 70% 에탄

<Table 2> Total phenolic and flavonoid contents of Chinese soybean

Total phenolic content (GAE ¹⁾ mg/g dw)	Total flavonoid content (QE ²⁾ mg/g dw)
9.91±0.57	4.15±0.39

All values are mean±SD of triplicate determination.

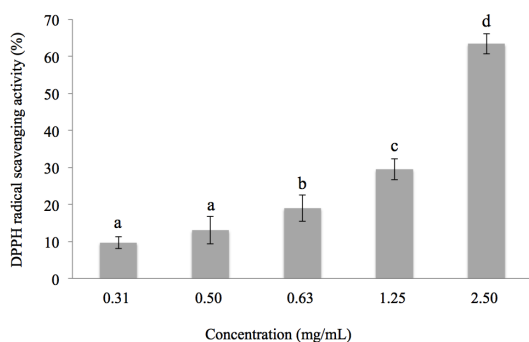
¹⁾ Total phenolic content was expressed as mg gallic acid equivalent/g dry weight.

²⁾ Total flavonoid content was expressed as mg quercetin equivalent/g dry weight.

올 추출물(60℃, 3시간)의 총 페놀 함량이 각각 21.56±0.92 mg/g과 22.89±0.25 mg/g이었다는 보고(Hong JY et al 2014)에 비해서는 낮았으나, 국내산 대두인 백태와 태광콩의 열수 추출물(80℃, 3시간)의 총 페놀 함량이 각각 189.25±3.20 mg/100 g과 210.23±2.34 mg/100 g이었으며, 백태와 태광콩의 70% 에탄올 추출물(70℃, 3시간)의 총 페놀 함량이 각각 86.02±2.79 mg/100 g과 90.12±2.05 mg/100 g이었다는 보고(Joo EY & Park CS 2011)에 비해서는 높은 것으로 나타났다. 한편, 국내산 대두의 80% 에탄올 추출물(80℃, 1시간)의 총 플라보노이드 함량이 2.03±0.04 mg/g이었다는 보고(Lee HK et al 2010)와 국내산 대두(백태)의 70% 메탄올 추출물(60℃, 1시간)의 총 플라보노이드 함량이 1.56±0.117 mg/g이었다는 보고(Park JW et al 2007)에 비해서는 높았으며, 국내산 대두(쥐눈이콩)의 70% 에탄올 추출물(60℃, 3시간)의 총 플라보노이드 함량이 4.70±0.30 mg/g이었다는 보고(Hong JY et al 2014)와 유사한 결과를 나타내었다.

3. 메탄올 추출물의 항산화 활성

항산화 활성 측정에 가장 널리 사용되는 방법인 DPPH 라디칼 소거능은 항산화 물질에 의한 전자 공여로 지질과산화 연쇄 반응에 관여하는 산화성 자유 라디칼의 억제 정도를 간접적으로 측정하는 것으로 간편하면서 신뢰성이 높은 방법이다(Kim HS et al 2009). 중국산 대두 추출물의



<Fig. 1> Result of DPPH radical scavenging activity.

DPPH 라디칼 소거능은 0.31, 0.50, 0.63, 1.25 및 2.50 mg/mL의 농도에서 각각 9.72 ± 1.61 , 13.08 ± 3.70 , 19.00 ± 3.53 , 27.78 ± 5.73 및 $63.44 \pm 2.74\%$ 로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$) (Fig. 1). 이런 결과는 국내산 대두(태광콩)의 80% 에탄올 추출물(50°C, 24시간)의 DPPH 라디칼 소거능이 0.08, 0.40 및 2.00 mg/mL의 농도에서 각각 5.14, 15.72 및 57.76%이었다는 보고(Jeon KS 2002)와 국내산 대두(취눈이콩)의 70% 에탄올 추출물(60°C, 3시간)이 0.63 mg/mL와 1.25 mg/mL의 농도에서 각각 $18.38 \pm 2.38\%$ 와 $21.33 \pm 0.72\%$ 이었

다는 보고(Hong JY et al 2014)와 유사하였으며, 국내산 대두(백태)의 70% 메탄올 추출물(60°C, 1시간)이 0.2 g/mL 농도에서 전자공여능이 $21.34 \pm 1.04\%$ 이었다는 보고(Park JW et al 2007)에 비해서는 낮았으나, 국내산 대두의 80% 에탄올 추출물(80°C, 1시간)이 2 mg/mL 농도에서 DPPH 라디칼 소거능이 $0.44 \pm 0.27\%$ 이었다는 보고(Lee HK et al 2010)에 비해서는 높은 것으로 나타났다.

초기 DPPH 라디칼의 50%를 소거하는데 필요한 농도(IC₅₀)는 중국산 대두 추출물과 양성 대조군인 ascorbic acid, α -tocopherol, BHA, BHT가 각각 2.04 ± 0.16 , 0.29 ± 0.01 , 0.52 ± 0.03 , 0.50 ± 0.06 , 0.22 ± 0.00 mg/mL로 나타났다(Table 3). 이런 결과는 국내산 대두인 태광콩과 백태로 제조한 두유의 DPPH 라디칼에 대한 IC₅₀ 농도가 각각 19.53 mg/mL와 9.36 mg/mL이었다는 보고(Hwang JM 2011)에 비해서 높은 항산화 활성을 나타내는 것이었다. 한편, Kang SA & Han JA(2004)는 대두와 약콩의 70% 메탄올 추출물(실온, 24시간)의 IC₅₀ 농도가 각각 13 mg/mL와 1.41 mg/mL이었다고 보고하여 본 연구 결과는 약콩과 유사한 전자공여능을 나타내었다.

<Table 3> Result of ANOVA according to antioxidant activities with DPPH and ABTS radical scavenging activity

	IC ₅₀ of DPPH radical scavenging activity (mg/mL) ¹⁾	IC ₅₀ of ABTS radical scavenging activity (mg/mL) ²⁾
Soybean	2.040 ± 0.155^{ab3}	3.312 ± 0.313^a
Ascorbic acid	0.291 ± 0.010^b	0.072 ± 0.002^b
α -Tocopherol	0.517 ± 0.030^c	0.072 ± 0.001^c
BHA	0.497 ± 0.058^d	0.097 ± 0.003^d
BHT	0.022 ± 0.001^c	0.114 ± 0.001^c
<i>F</i> -value	327.760***	318.960***

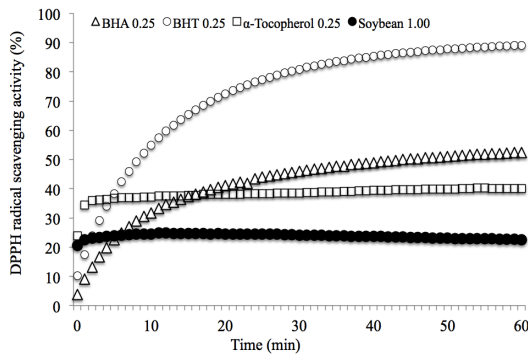
*** $p < 0.001$.

¹⁾ IC₅₀ values denote the concentration of the sample which is required to scavenge 50% of DPPH radicals.

²⁾ IC₅₀ values denote the concentration of the sample which is required to scavenge 50% of ABTS radicals.

³⁾ a-c Means in a row by different superscripts are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

All values are mean \pm SD of triplicate determination.

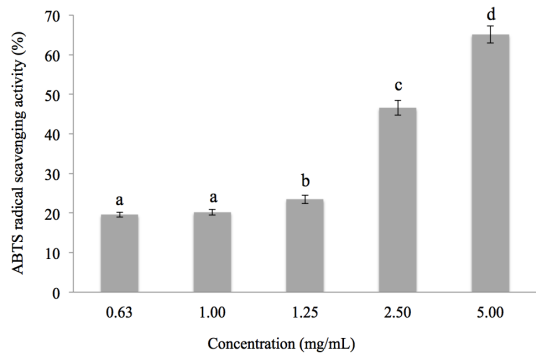


〈Fig. 2〉 Result of kinetics of antioxidant activity using DPPH assay.

Bondet V et al(1997)에 의하면 대부분의 페놀성 항산화제는 DPPH 라디칼과 느리게 반응하여 정상상태(steady state)에 도달하는데 1~6시간이 소요된다. 중국산 대두 추출물(1.00 mg/mL)과 α-tocopherol(0.25 mg/mL)은 DPPH 라디칼과 빠르게 반응하여 DPPH 라디칼 소거능이 10분 이내에 정상상태에 도달한 반면, BHA(0.25 mg/mL)와 BHT(0.25 mg/mL)는 DPPH 라디칼과 느리게 반응하여 반응 60분 경과 후에도 정상상태에 도달하지 못하는 것으로 나타났다(Fig. 2).

ABTS 측정법은 과황산 칼륨과의 반응으로 생성된 ABTS 양이온 라디칼이 항산화성 물질에 의해 제거되면서 청록색이 탈색되는 원리를 이용한 비색정량법이다(Van den Berg et al 1999). 중국산 대두 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 0.63, 1.00, 1.25, 2.50 및 5.00 mg/mL의 농도에서 각각 19.55±0.58, 32.79±2.39, 37.96±0.24, 46.55±1.86 및 68.44±7.95%로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$) (Fig. 3).

초기 ABTS 라디칼의 50%를 소거하는데 필요한 농도(IC₅₀)는 중국산 대두 추출물과 양성 대조군인 ascorbic acid, α-tocopherol, BHA, BHT가 각각 3.312±0.313, 0.072±0.002, 0.072±0.001, 0.097±0.003, 0.114±0.001 mg/mL로 나타났다(Table 3). 이런 결과는 국내산 대두인 태광콩과 백태로 제조한 두유의 ABTS 라디칼에 대한 IC₅₀ 농도가 각각 2.495 mg/mL와 4.738 mg/mL이었다는 Hwang



〈Fig. 3〉 Result of one-way ANOVA according to ABTS radical scavenging activity.

JM(2011)의 보고와 유사한 것으로 나타났다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 이용 유래가 깊고 기능성 식품으로 주목받고 있는 대두 및 가공식품의 소비 증가와 국내 수급 부족, 저렴한 가격 등을 배경으로 원료 콩으로서 큰 비중을 차지하고 있는 중국산 대두의 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성을 분석하여 천연 항산화성 소재로서의 활용 가능성에 대한 기초자료를 제공하고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

중국산 대두의 백립중과 장폭비는 각각 22.07±0.40 g과 1.00±0.01이었으며, 색채는 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)가 각각 87.83±0.90, 1.18±0.06, 25.06±0.51로 분석되었다. 중국산 대두의 메탄올 추출물의 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량은 각각 9.91±0.57 GAE mg/g과 4.15±0.39 QE mg/g이었다. 중국산 대두 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 0.31, 0.50, 0.63, 1.25 및 2.50 mg/mL의 농도에서 각각 9.72±1.61, 13.08±3.70, 19.00±3.53, 27.78±5.73 및 63.44±2.74%로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 초기 DPPH 라디칼의 50%를 소거하는데 필요한 농도(IC₅₀)는 중국산 대두 추출물과 양성 대조군인 ascorbic acid, α-tocopherol, BHA, BHT가 각각 2.04±0.16, 0.29±0.01, 0.52±0.03, 0.50±0.06, 0.22±0.00 mg/mL로

나타났다. 중국산 대두 추출물과 α -tocopherol은 DPPH 라디칼과 빠르게 반응한 반면, BHA와 BHT는 느리게 반응하는 것으로 나타났다. 중국산 대두 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 0.63, 1.00, 1.25, 2.50 및 5.00 mg/mL의 농도에서 각각 19.55 ± 0.58 , 32.79 ± 2.39 , 37.96 ± 0.24 , 46.55 ± 1.86 및 $68.44 \pm 7.95\%$ 로 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 초기 ABTS 라디칼의 50%를 소거하는데 필요한 농도(IC₅₀)는 중국산 대두 추출물과 양성 대조군인 ascorbic acid, α -tocopherol, BHA, BHT가 각각 3.312 ± 0.313 , 0.072 ± 0.002 , 0.072 ± 0.001 , 0.097 ± 0.003 , 0.114 ± 0.001 mg/mL로 나타났다.

이상의 결과로부터, 중국산 대두는 유전자 재조합을 사용하지 않은 안전한 비유전자 변형 대두로서(Lei T 2013), 페놀성 화합물이 풍부하게 함유되어 있으며, 항산화 효과가 우수한 천연물 유래 항산화성 소재로서 활용 가능성이 높은 것으로 기대된다. 본 연구는 중국 북동지역에서 일반적으로 재배되는 고단백질 품종(Jie WG et al 2011)으로 대두 가공식품 제조에 적합한 대두(Heinong 48)를 대상으로 분석을 진행하여 다양한 재배 환경, 품종 등에 따른 페놀성 화합물의 함량 차이를 반영하지 못하였으며, 항산화 효과 검증은 DPPH 라디칼과 ABTS 라디칼 소거능을 측정하였을 뿐, lipid aqueous system 또는 lipid system에서의 항산화성에 대한 검증이 이루어지지 못하였다. 따라서 후속 연구에서는 중국의 다양한 지역에서 재배된 여러 품종의 대두를 대상으로 지방 산화에 대한 산화 억제 효과, 다른 천연 및 합성 항산화제와의 병용 사용에 대한 효과 등 폭넓은 항산화 효과 검증 시스템을 이용한 분석, 그 기능성 성분의 분리·동정, 항산화 작용 기작 규명 등이 수행되어야 할 것으로 생각된다.

한글 초록

본 연구에서는 중국산 대두의 천연 항산화성

소재로서의 활용 가능성에 대한 기초자료를 제공하고자 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성을 측정하였다. 중국산 대두(Heinong 48)의 메탄올 추출물의 총 페놀 및 총 플라보노이드 함량은 각각 9.91 ± 0.57 GAE mg/g과 4.15 ± 0.39 QE mg/g이었다. 중국산 대두 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며($p < 0.05$), IC₅₀는 2.04 ± 0.16 mg/mL이었다. 중국산 대두 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며($p < 0.05$), IC₅₀는 3.31 ± 0.31 mg/mL이었다. 이상의 결과로부터, 중국산 대두는 페놀성 화합물이 풍부하며, 항산화성 소재로서 활용 가능성이 높은 것으로 기대된다.

참고문헌

- 농림축산식품부 (2014). 2014년도 농림축산식품 주요 통계. 농림축산식품부, 251, 264, 277, 281, 세종특별자치시.
- 홍은희 (1995). 우리나라 두류의 품종. 상록사, 20-38, 서울.
- Ames BM (1983). Dietary carcinogens and anti-carcinogens: oxygen radical and degenerative diseases. *Science* 221(4617):1256-1263.
- Anderson RI, Wolf WJ (1995). Compositional changes in trypsin inhibitors, phytic acid, saponins and isoflavones related to soybean processing. *J Nutr* 125(3):581S-588S.
- Aruoma OI (1994). Nutrition and health aspects of free radicals and antioxidants. *Food Chem Toxicol* 32(7):671-683.
- Baardseth P (1989). Effect of selected antioxidants on the stability of dehydrated mashed potatoes. *Food Additives & Contaminants* 6(2):201-207.
- Beecher GR (2003). Overview of dietary flavonoids: nomenclature, occurrence and intake. *J Nutr* 133(10):3248S-3254S.
- Blakeman DP, Ryan TP, Jolly RA, Petry TW

- (1995). Diquat-dependent protein carbonyl formation. *Biochem Pharmacol* 50(7):929-935.
- Blois MS (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181 (4671):1199-1200.
- Bondet V, Brand WW, Berst C (1997). Kinetics and mechanism of antioxidant activity using the DPPH free radical method. *Lebensm Wiss Technol* 30(6):609-615.
- Cheigh HS, Lee CY (1993). Antioxidative characteristics of plant phenolic compounds. *Life Science* 3(1):9-17.
- Choi SH, Gim US, Lee HJ, Cho JH (2011). A consumer perception for the safety of imported chinese food: the place of origin or environmental-friendliness of the raw bean. *CNU J Agric Sci* 38(2):361-368.
- Choi SK, Kim SH, Kim DS (2009). Sensory and mechanical characteristics of fish patties according to the addition of soybean powder. *Korean J Culinary Res* 12(2):84-92.
- Choi US, Jhee OH, Jegal SA (2010). Changes in the quality characteristics of soybean *dasik* by additions of bamboo(*Pseudosasa japonica* Makino) leaf powder. *The Korean J Culinary Res* 16(3):278-285.
- Choi YS, Um YH (2013). The quality characteristics of soybean *dasik* added with ramie leaf extract powder(*Boehmeria nivea*) powder. *The Korean J Culinary Res* 19(5):1-10.
- Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50(17):4959-4964.
- Halliwell B, Aruoma OI (1991). DNA damage by oxygen-derived species. *FEBS Lett* 281 (1-2): 9-19.
- Hawrylewicz EJ, Zapata JJ, Blair WH (1995). Soy and experimental cancer: animal studies. *J Nutr* 125(3):698S-708S.
- Herman C, Adlercreutz T, Goldin BR, Gorbach SL, Höckerstedt KAV, Watanabe S, Hämäläinen EK, Markkanen MH, Mäkelä TH, Wähälä KT, Hase TA, Fotsis T (1995). Soybean phytoestrogen intake and cancer risk. *J Nutr* 125 (3):757S-770S.
- Ho CT (1992). Phenolic compounds in food and their effects on health (I): Analysis, occurrence, and chemistry. Am Chem Soc, 2-7, Washington, DC.
- Hong JY, Shin SR, Kong HJ, Choi EM, Woo SC, Lee MH, Yang KM (2014). Antioxidant activity of extracts from soybean and small black bean. *Korean J Food Preserv* 21(3):404-411.
- Hung JY, Shin SR, Kong HJ, Choi EM, Woo SC, Lee MH, Yang KM (2014). Antioxidant activity of extracts from soybean and small black bean. *Korean J Food Preserv* 21(3):404-411.
- Hwang JM (2011). Selection of superior functionality soybeans and changes of isoflavone and GABA contents according to soymilk lactic acid fermentation conditions. MS Thesis, Andong National University, 29-37, Andong.
- Jeon KS (2002). Isolation of isoflavones and screening of antioxidative and anti-angiogenic components from colored legumes. Ph.D. Thesis, Seoul National University, 50-73, Seoul.
- Jhee OH (2010). A study on the quality properties of *sulgidduk* added with defatted soy flour. *Korean J Culinary Res* 16(2):342-350.
- Jin YI, Hong SY, Kim SJ, Ok HC, Lee YJ, Nam JH, Yoon YH, Jeong JC, Lee SA (2010). Comparison of antioxidant activity and amino acid components of mungbean cultivars grown in highland area in Korea. *Korean J Environ Agric* 29(4):381-387.
- Joo EY, Park CS (2011). Antioxidant and fibrolytic activities of extracts from soybean and *chungkukjang*(fermented soybean paste). *Ko-*

- rean *J Food Preserv* 18(6):930-937.
- Kang SA, Han JA (2004). Acetylcholinesterase inhibiting effect and free radical scavenging effect of soybean(*Glycine max*) and Yak-kong (*Rhynchosia nolubilis*). *J East Asian Soc Dietary Life* 14(1):64-69.
- Kennedy AR (1995). The evidence for soybean products as cancer preventive agents. *J Nutr* 125(3):733S-743S
- Kim EM, Lee KJ, Ghee KM (2004). Comparison in isoflavone contents between soybean and soybean sprouts of various soybean cultivars. *Korean J Nutrition* 37(1):45-51.
- Kim HG, Lee MJ, Kim HJ, Kim KC, Bose S (2012). Effects of fermented soybean upon anti-inflammation and intestinal mucous membrane permeability. *J Soc Korean Med Obesity Res* 12(1):33-47.
- Kim HS, Hong MJ, Kang IY, Jung JY, Kim HK, Shin YS, Jun HJ, Suh JK, Kang YH (2009). Radical scavenging activities and antioxidant constituents of oriental melon extract. *J Bio-Environment Control* 18(4):442-447.
- Kim JY, Maeng YS, Lee KY (1995). Antioxidative effects of soybean extracts by using various solvents. *Korean J Food Sci Technol* 27(5):635-639.
- Kim YT, Lee MS, Kim AJ (2014). Changes in antioxidative activities and general composition of mung beans according to roasting temperature. *J East Asian Soc Dietary Life* 24(2):217-223.
- Kurzer MS, Xu X (1997). Dietary phytoestrogen. *Annu Rev Nutr* 17:353-381.
- Lai CS, Piette LH (1977). Hydroxyl radical production involved in lipid peroxidation of rat liver microsomes. *Biochem Biophys Res Commun* 78(1):51-59.
- Lee CY (1991). Encyclopedia of Food Science and Technology. John Wiley & Sons Inc, 2055-2061, New York.
- Lee HJ, Kim JO, Yook HS, Byun MW (1996). Physicochemical properties of gamma-irradiated soybeans. *Koran J Food Sci Tehcnol* 28(3):558-565.
- Lee HK, Hwang IK, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee JS, Jeong HS (2010). Physicochemical characteristics and antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(9):1399-1404.
- Lee JK, Jin LM, Kim YS, Row KH (2005). Recovery of aglycone of daidzein and genistein in soybeans. *Korean Chem Eng Res* 43(5):641-645.
- Lee KI, Park KY, Ahn HK (2011). The anticancer effects of *doenjang* made with various kinds of salt. *The Korean J Culinary Res* 17(5):241-252.
- Lei T (2013). A study on the factors affecting China's soybean industry. MS Thesis, Taegu University, 2, Taegu.
- Lim SY (2007). Antimutagenicity and anticancer activity of soybean fraction extracted by solvents. *J Life Sci* 17(10):1368-1373.
- Messina MJ, Persky V, Setchell KD, Barnes S (1994). Soy intake and cancer risk: a review of the *in vitro* and *in vivo* data. *Nutr Cancer* 21(2):113-131.
- Moon SH (2013). Anti-aging effects of enzymatically modified soybean extract in the human fibroblast cells. MS Thesis, Hanyang University, 26-27, Seoul.
- Na MO (2004). Studies on physicochemical characteristics and processing adaptability for soybean curd used by soybeans produced in different countries. MS Thesis, Hankyong National University, 30-31, Gyeonggi-do.
- Noh MJ, Kwon JH, Kwon YJ, Huh EY, Kwon YS, Byun MW (2001). Comparative effects of

- gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical properties of mung bean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30(3):444-449.
- Park CH, Kim KH, Yook HS (2014). Comparison of antioxidant activities in soybean sprout according to preparation and cooking process. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43(3):397-403.
- Park JW, Lee YJ, Yoon S (2007). Total flavonoids and phenolics in fermented soy products and their effects on antioxidant activities determined by different assays. *Korean J Food Culture* 22(3):353-358.
- Pratt DE, Birac PM (1979). Source of antioxidant activity of soybeans and products. *J Food Sci* 44(6):1720-1722.
- Roberta R, Nicoletta P, Anna P, Anath P, Min Y, Catherine RE (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Bio Med* 26 (9-10):1231-1237.
- Ryu SH, Moon GS (2003). Antioxidative and antiaging effects of dietary yellow and black soybean in rats. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32 (4):591-597.
- Shalaby EA, Shanab SMM (2013). Comparison of DPPH and ABTS assays for determining antioxidant potential of water and methanol extracts of *Spirulina platensis*. *Indian J Mar Sci* 42(5):556-564.
- So KH, Kim MK, Jeon JY, Do DH (2000). Studies on the *meju* processing aptitude of recommended soybean varieties. 1. Characteristics of soybean varieties as raw material, soaking and boiling process. *Korean J Food & Nutr* 13(1): 28-35.
- Song YB, Lee KS, Lee MS, Kim AJ (2013). Bioactivity changes in mung beans according to the roasting time. *Korean J Food & Nutr* 26(3):502-507.
- Swain T, Hillis WE (1959). Phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *J Sci Food Agric* 10(1):83-88.
- Szabo MR, Idioiu C, Chambre D, Lupea AX (2007). Improved DPPH determination for antioxidant activity spectrophotometric assay. *Chem Pap* 61(3):214-216.
- Tang DY, Dong YM, Ren HK, Li L, He CF (2014). A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vigna radiata*). *Chem Cent J* 8(1):4-12.
- Van den Berg R, Haenen GRMM, Van den Berg H, Bast A (1999). Applicability of an improved trolox equivalent antioxidant capacity(TEAC) assay for evaluation of antioxidant capacity measurements of mixtures. *Food Chem* 66(4): 511-517.
- Yun SC (2004). Detection of genetically modified genes from soybean sprout products. *Korean J Crop Sci* 49(3):227-231.
- Zheng J, Jin Y, Row KH (2005). Analysis of isoflavones from Korean and Chinese soybean and processed products by HPLC. *J Korean Chem Soc* 49(4):349-354.
- Jie WG, Zhang Y, Cai BY, Bai L, Wang LY, Li EP (2011). Effects of phosphorus on the content of vitamin E in different soybean cultivars. *J Agric Sci & Technol* 12(12):1881-1884.

2015년 03월 17일 접수
 2015년 04월 03일 1차 논문수정
 2015년 05월 28일 2차 논문수정
 2015년 06월 10일 논문 게재확정