

## 중국산 녹두의 항산화 활성

전 기 숙 · 서 윤 롱 · 박 신 인<sup>¶</sup>  
가천대학교 식품영양학과<sup>¶</sup>

## Antioxidant Activity of Chinese Mung Bean

Ki-Suk Jeon · Yun-Long Xu · Shin-In Park<sup>¶</sup>  
Dept. of Food and Nutrition, Gachon University<sup>¶</sup>

### Abstract

The aim of this study was to investigate the applicability of Chinese mung bean as a natural antioxidant agent. This study evaluated the phenolic compounds content and antioxidative activity of methanol extract from Chinese mung bean. Antioxidative activities were measured by *in vitro* models such as 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity, and 2,2-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) radical scavenging activity. The contents of total phenolics and total flavonoids of Chinese mung bean extract were 174.83±2.90 GAE mg/g and 68.87±2.84 QE mg/g, respectively. The antioxidative activities of Chinese mung bean extract were significantly increased in a dose dependent manner on DPPH radical scavenging and ABTS radical scavenging ( $p < 0.05$ ). The concentration of Chinese mung bean extract that reduces the free radical ABTS about 50% (IC<sub>50</sub>) was 2.85 mg/mL. These results suggest that Chinese mung bean may have great potential as a natural antioxidant source linked with health benefits.

**Key words:** Chinese mung bean, antioxidant, phenolic compounds, DPPH, ABTS, phenolics, flavonoids

### I. 서 론

최근 경제 성장과 생활수준의 향상으로 건강에 대한 관심이 고조되면서 식품을 통한 생체 방어, 노화 억제, 질병 예방 등 생리활성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Shim JS et al 2005; Park JH & Kim EM 2010). 특히 인간이 오랫동안 섭취해 온 안전한 천연물의 일부 성분들은 항산화 시스템 구축에 있어서 체내 활성산소를 감소시켜 질병을 예방할 수 있는 것으로 보고되어, 이로부터 인체에 안전하고 항산화 효과가 높은 물질을 분리 이용하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다

(Cho YJ et al 2008a).

활성산소는 생체 내에서 에너지를 생산하는 산화과정에서 생성되는 물질로, 생체 내 항산화 방어체계에 의해 대부분 소멸되지만, 항산화 방어체계의 균형이 깨지게 되면 증가된 활성산소가 생체물질과 쉽게 반응하여 체내 고분자들을 공격하게 되고, 세포와 조직에 비가역적인 손상, 돌연변이, 세포독성, 발암 등을 초래한다(Cho YJ et al 2008b).

활성산소를 조절하는 항산화제는 butylated hydroxyanisole(BHA), butylated hydroxytoluene(BHT), benzoic acid, *p*-oxybenzoic ester 등의 합성 항산화

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

제와 ascorbic acid, tocopherol, carotenoid, flavonoid, glutathione 등의 천연 항산화제로 분류된다. 합성 항산화제는 항산화 효과가 뛰어나지만, 다량 섭취 시 독성을 나타낼 수 있는 것으로 알려져, 안전한 천연 항산화제에 대한 관심이 고조되고 있다(Branen AL 1975; Choe SY & Yang KH 1982).

식물의 2차 대사산물인 페놀성 화합물은 여러 종류의 과일, 채소, 약초 등의 천연물에 다량 분포되어 있으며, 분자 내 phenolic hydroxyl기가 효소 단백질과 같은 거대분자들과 결합하는 성질을 갖고 있어서 항염, 간독성 완화, 항종양, 동맥경화 방지, 항돌연변이, 관절예방, 항당뇨, 항암, 항균 활성 등과 같이 건강에 유익한 여러 가지 생리활성 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Huang MT et al 1992; Sakihama Y et al 2002; Scalbert A et al 2005; Kang MA et al 2010). 그 중 플라보노이드는 식물에서 합성되는 페놀성 화합물의 가장 큰 부류에 속하며, 구조에 따라 anthocyanins, flavanols, flavones, flavanones, flavonols, isoflavones의 6가지로 분류된다(Robards K & Antolovich M 1997).

녹두(*Vigna radiate* (L.) Wilczek)는 대두, 팥 다음으로 이용도가 높은 콩과(Leguminosae) 작물로 식이섬유를 포함한 당질(50~60%)과 단백질(20~24%) 함량이 높고, 지방 함량(1%)이 낮은 두류이다(Tang DY et al 2014). 향미와 전분질이 우수한 녹두는 숙주나물과 빈대떡의 주 원료가 되며, 청포묵과 녹두죽, 떡의 소나 앙금 등 전분의 특성을 이용한 형태로 소비되고 있다(Kim YS et al 1981; Song JC 1994).

녹두는 고온성 작물로 생육 최적온도가 28~30℃이며, 기상조건이 생육에 적합하고 식물체의 영양이 양호할 경우 개화가 여러 번에 걸쳐 일어나고, 꼬투리가 착생하여 일시에 수확과 탈곡이 곤란하다. 농가 관행재배의 경우 3~4회 손으로 수확하여 건조하고 탈곡해야 하므로 호당 넓은 면적을 재배하기 어려워 재배면적이 급격히 감소하였다(Kim DK et al 2010). 통계청의 노지 식량

작물 재배면적 조사에 따르면 녹두 재배면적은 2001년 2,762 ha이었던 것이 2011년 1,604 ha로 급감했다가 2014년 2,191 ha로 증가하였으나(통계청 2014), 기획재정부에 따르면 녹두는 수요에 비해 국내 생산이 턱없이 부족하여 수급 안정을 위해 일정한 물량까지 낮은 관세율로 수입하는 시장접근물량 확대 품목으로 지정되어 2013년 34,000톤으로 증량되었다(기획재정부 2014). 반면, 세계 최고의 녹두 수출국인 중국은 대부분의 지역에서 녹두를 재배하며, 총 재배면적은 800,000 ha, 총 생산량은 900,000톤에 달한다. 2001년부터 2008년까지 평균 수출량은 159,100톤으로 톤당 평균 수출가격은 미화 632 달러이었다(Cheng Z & Tian J 2011).

국내산 녹두에 관한 연구로는 비린내 발생 원인인 peroxidase(Jun TH et al 1983; Lee SK et al 1986)와 전분의 겔 형성 특성(Rho JH & Rhee HS 1988; Kim AK et al 1995) 등 식품학적 기능성 연구가 주를 이루고 있으며, 플라보노이드 함량(Kim DK et al 2005), 이소플라본 함량과 항산화 및 혈전용해 활성(Oh HS et al 2003) 등 일부 생리활성과 관련된 보고도 있지만 미미한 실정이다.

중국산 녹두에 대한 연구로는 녹두 전분의 물성(Lee CS 1992) 및 겔 특성(Qian Y & Shin MS 2012), lectin의 생화학적 특성(Roh KS 201)에 대한 보고가 있을 뿐, 생리활성 물질이나 그 기능성에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내 수급 부족으로 수입이 증가하고 있는 중국산 녹두의 페놀성 화합물 함량과 항산화 활성을 검토하여 국내산 녹두와의 차이를 비교하고, 다양한 질병의 원인인 활성산소를 감소시키는 천연 항산화성 소재 및 기능성 식품으로의 이용 가능성을 확인하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 재료 및 시약

본 실험에 사용한 녹두(Zhonglv 2호)는 중국 산동성에서 2013년 8월에 수확된 것을 구매하여 분쇄기(Food mixer, HR2171, Artreal Manufacturing Ltd, Guangdong, China)로 50 mesh 크기로 분말화한 후  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 냉동보관하면서 실험에 사용하였다. 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성 측정에 사용된 시약인 Folin-Ciocalteu's reagent, galic acid (97.5%), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl(DPPH),  $\alpha$ -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%)는 Sigma(Sigma-Aldrich Co., Steinheim, Germany)로부터 구입하였고, quercetin (97.0%)은 HWI(HWI Analytik GmbH, Ruelzheim, Germany)로부터 구입하여 사용하였다.

## 2. 일반성분 및 물리적 특성 분석

녹두의 일반성분은 AOAC(1996) 방법에 따라 분석하였다. 수분 함량은  $105^{\circ}\text{C}$  상압가열건조법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분 함량은  $550^{\circ}\text{C}$ 에서 직접회화법, 조단백질 함량은 Semi-micro Kjeldal법으로 측정하였으며, 질소 환산계수는 6.25를 사용하였다. 탄수화물 함량은 100에서 수분, 조지방, 조회분, 조단백질 함량을 뺀 값으로 나타내었다. 녹두를  $25^{\circ}\text{C}$  항온기에서 3일간 방치한 후 무작위로 100알씩 세어서 무게를 칭량하여 백립중을 측정하였으며, 마이크로 캘리퍼를 사용하여 길이와 폭을 측정하였다. 녹두 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

녹두 분말 시료 중량의 5배량의 메탄올을 첨가하고,  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 16시간 동안 3회 반복 추출하여 여과(Whatman No. 1 filter paper)하였다. 여액은 열에 민감한 물질의 분리에 효율적인 회전진공농

축기(Eyela N-1NW, Rikakikai, Tokyo, Japan)를 이용하여  $40^{\circ}\text{C}$ 에서 감압 농축하여 메탄올을 제거하고, 최소량의 dimethyl sulfoxide(DMSO)를 이용하여 희수한 후  $-20^{\circ}\text{C}$  냉동고에 보관하면서 일정 농도로 희석하여 실험에 사용하였다.

## 4. 페놀성 화합물 함량 측정

녹두 메탄올 추출물의 총 페놀 함량은 Swain과 Hillis의 방법에 따라 측정하였다(Swain T & Hillis WE 1959). 일정 농도로 희석된 녹두 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 표준 검량선으로 부터 구하여, 건조 시료 g 중의 mg galic acid equivalent(GAE)로 나타내었다.

녹두 메탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량은 Dewanto 등의 방법을 변형하여 측정하였다(Dewanto V et al 2002). 일정 농도로 희석된 녹두 메탄올 추출물  $250\ \mu\text{L}$ 에 증류수 1 mL, 5% sodium nitrite 용액  $75\ \mu\text{L}$ 를 첨가하여 5분간 방치시킨 후, 10% aluminum chloride 용액  $150\ \mu\text{L}$ 를 첨가하여 6분간 방치시켰다. 위 반응액에 1N sodium hydroxide  $500\ \mu\text{L}$ 를 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 분석

DPPH 라디칼에 대한 전자 공여능은 Blois의 방법을 변형하여 측정하였다(Blois MS 1958). 일정 농도로 희석된 녹두 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 백분율

로 나타내었다. DPPH 라디칼 소거능의 반응속도론적(kinetics) 정상 상태(steady state) 도달시간은 60분 동안 1분 간격으로 흡광도 변화를 관찰하였으며, 양성 대조군으로  $\alpha$ -tocopherol, BHA, BHT를 이용하였다.

ABTS 라디칼 소거능은 Roberta 등의 방법으로 측정하였다(Roberta R et al 1999). 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulphate를 혼합하고, 암소에서 하루 동안 방치하여 양이온 라디칼( $ABTS \cdot^+$ )을 형성시킨 후, 735 nm에서 흡광도의 값이 1.5 이하가 되도록 희석하였다. 희석된  $ABTS \cdot^+$  용액 1 mL에 일정 농도로 희석된 녹두 메탄올 추출물 시료 50  $\mu$ L를 첨가한 뒤 30분 후 흡광도의 변화를 측정하였다. 항산화 활성은 시료 무첨가구의 흡광도에 대해 50% 흡광도 감소를 나타내는 시료의 농도를  $IC_{50}$ 으로 표시하였다. 양성 대조군으로  $\alpha$ -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 신뢰구간  $p < 0.05$  수준에서 Duncan의 다중범위 시험법(Duncan's multiple range test)으로 유의성 검정을

실시하였다.

## III. 연구결과 및 고찰

### 1. 일반성분 및 물리적 특성

중국산 녹두의 수분, 조회분, 조단백질, 조지방, 탄수화물 함량은 각각  $8.66 \pm 0.05\%$ ,  $3.26 \pm 0.08\%$ ,  $24.95 \pm 0.02\%$ ,  $0.78 \pm 0.05\%$ ,  $62.35 \pm 0.03\%$ 로 나타났다(Table 1). Kim YS et al(1981)은 국내산 녹두의 일반성분에 관한 연구에서 조단백질은 24.81%, 조지방은 0.82%로 보고하여 본 결과와 유사하였다. 한편, Kim YT et al(2014)은 국내산 녹두의 수분, 조회분, 조단백질, 조지방, 탄수화물 함량이 각각  $10.08 \pm 0.23\%$ ,  $5.02 \pm 0.01\%$ ,  $17.31 \pm 0.23\%$ ,  $0.49 \pm 0.02\%$ ,  $67.10 \pm 0.15\%$ 이었다고 보고하여 수분, 조회분, 탄수화물 함량은 본 결과보다 높았으나, 조단백질과 조지방 함량은 본 결과보다 낮게 나타났다. Koh KW et al(1997)의 보고에 의하면 국내산 녹두의 수분(13.13%)과 조지방(1.08%) 함량은 본 결과보다 높았으나, 조단백질(21.67%)과 탄수화물(60.39%) 함량은 본 결과보다 낮게 나타났다.

중국산 녹두의 백립중은  $4.65 \pm 0.12$  g이었으며, 길이와 폭은 각각  $3.83 \pm 0.06$  mm와  $2.52 \pm 0.05$  mm이었다(Table 2). Jin YI et al(2010)은 국내산 녹두 6품종의 백립중이  $4.90 \pm 0.35$  g이었다고 보고하였

**<Table 1> Proximate compositions of mung bean (%)**

Moisture	Crude ash	Crude protein	Crude fat	Carbohydrate
$8.66 \pm 0.05$	$3.26 \pm 0.08$	$24.95 \pm 0.02$	$0.78 \pm 0.05$	$62.35 \pm 0.03$

All values are mean $\pm$ SD of triplicate determination.

**<Table 2> Physical properties of mung bean**

Weight of 100 seeds (g)	Size (mm)		Hunter's color value		
	Length	Width	L	a	b
$4.65 \pm 0.12$	$3.83 \pm 0.06$	$2.52 \pm 0.05$	$83.06 \pm 0.32$	$0.61 \pm 0.12$	$15.04 \pm 0.35$

All values are mean $\pm$ SD of triplicate determination.

으며, Kim DK et al(2010)은 국내산 녹두 9품종의 천립중이 43~56 g이었다고 보고하여 본 결과와 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Lee CS(1992)는 국내산 녹두의 길이와 폭이 4×3 mm이었다고 보고하여 본 결과와 유사하였다.

중국산 녹두 분말의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)는 각각 83.06±0.32, 0.61±0.12, 15.04±0.35로 분석되었다(Table 2). 이는 Noh MJ et al(2001)이 국내산 녹두 분말의 명도, 적색도, 황색도가 각각 87.25, -3.59, 14.38이었다는 보고에 비해 명도는 낮았고, 적색도와 황색도는 높게 나타났다.

### 2. 페놀성 화합물 함량

식물성 식품에 함유되어 있는 생리활성 물질의 대부분은 페놀성 화합물이며, 그 중 플라보노이드가 가장 큰 부류이다(Pratt DE & Birac PM 1979; Beecher GR 2003). 중국산 녹두의 메탄올 추출물과 그 원료 녹두의 총 페놀 함량은 각각 174.83±2.90 GAE mg/g과 13.25±0.22 GAE mg/g으로 나타났다(Table 3). 이러한 결과는 국내산 녹두 분말을 80℃에서 70% 에탄올로 추출한 경우, 총 페놀 함량이 273.63±9.87 mg/g이었다는 Kim YT et al(2014)와 Song YB et al(2013)의 보고에 비해서는 낮았으며, Jin YI et al(2013)이 국내산 녹두 6 품종의 분말을 25℃에서 80% 메탄올로 추출한 경우, 총 페놀 함량이 1.19-1.49 mg/g이었다는 보고와 Lee HK et al(2010)이 국내산 녹두 분말을 80℃에서 80% 에탄올로 추출한 경우, 총 페놀 함량이 2.45±0.04 mg/g이었다는 보고에 비해서는 높았다.

중국산 녹두의 메탄올 추출물과 그 원료 녹두의 총 플라보노이드 함량은 각각 68.87±2.84 QE mg/g과 5.22±0.22 QE mg/g으로 나타났다(Table 3). 이러한 결과는 국내산 녹두 분말을 80℃에서 70% 에탄올로 추출한 경우, 총 플라보노이드 함량이 32.96±4.59 mg/g이었다는 Kim YT et al(2014)의 보고와 29.96±4.59 mg/g이었다는 Song YB et al(2013)의 보고에 비해서는 높았으며, 6품종의 국내산 녹두의 총 플라보노이드 함량이 15.88 mg/g이었다는 Kim DK et al(2005)의 보고에 비해서는 낮은 값이었다.

### 3. 항산화 활성

식품에 함유되어 있는 천연 화합물의 항산화 활성을 측정하는데 주로 이용되는 유리기는 DP-PH와 ABTS이다(Shalaby EA & Shanab SMM 2013). DPPH 측정법은 보라색을 띄는 DPPH 라디칼이 항산화성 물질로부터 전자나 수소를 받아 환원되면서 탈색되는 원리를 이용한 방법으로 비교적 간단하고 짧은 시간 내에 측정할 수 있어 널리 사용되고 있다(Szabo MR et al 2007). 중국산 녹두 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 0.31, 0.50, 0.63, 1.00, 1.25, 2.50 및 5.00 mg/mL의 농도에서 각각 14.17±3.48, 17.38±0.60, 19.32±2.34, 24.02±3.78, 41.52±2.39, 76.54±3.41 및 82.38±1.42%를 나타내었으며, 농도 의존적으로 DPPH 라디칼 소거능이 유의적으로 증가하였다( $p<0.05$ )(Fig. 1). Song YB et al(2013)은 국내산 녹두의 70% 에탄올 추출물이 0.1 mg/mL 농도에서 DPPH 라디칼

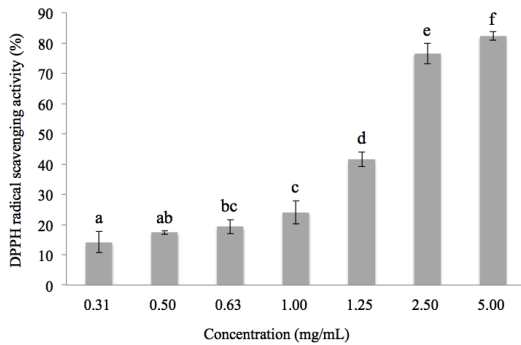
〈Table 3〉 Total phenolic and flavonoid contents of mung bean

	Total phenolic content (GAE <sup>1</sup> ) mg/g dw)	Total flavonoid content (QE <sup>2</sup> ) mg/g dw)
Methanolic extract	174.83±2.90	68.87±2.84
Raw material	13.25±0.22	5.22±0.22

All values are mean±SD of triplicate determination.

<sup>1)</sup> Total phenolic content was expressed as mg galic acid equivalent/g dry weight.

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

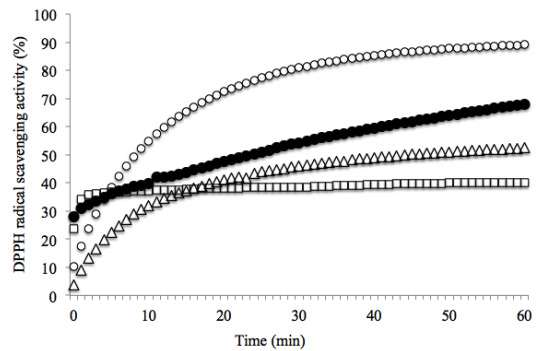


〈Fig. 1〉 DPPH radical scavenging activity of absolute methanol extract from mung bean at various concentrations. Each value shows the mean±SD of three parallel measurements. Bars with different letters indicate statistically significant differences among groups at  $p<0.05$  by one-way ANOVA.

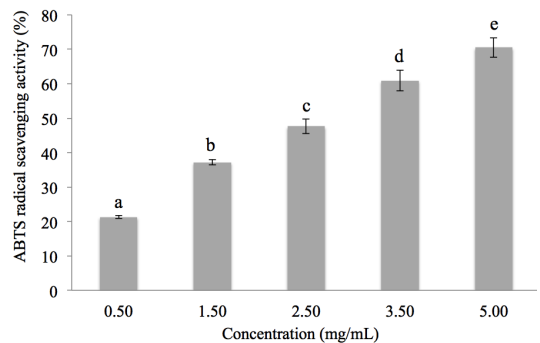
을 6.21% 소거하는 것으로 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 나타내었으며, Lee HK et al(2010)이 국내산 녹두의 80% 에탄올 추출물이 2.0 mg/mL 농도에서 DPPH 라디칼 소거능이  $16.01 \pm 0.81\%$ 이었다는 보고에 비해서는 높게 나타났다.

Bondet V et al(1997)에 의하면 대부분의 페놀성 항산화제는 DPPH 라디칼과 느리게 반응하여 정상 상태(steady state)에 도달하는데 1~6시간이 소요된다. 중국산 녹두 추출물(1.25 mg/mL)은 양성 대조군에 비해 DPPH 라디칼과 느리게 반응하여 60분 경과 후에도 정상 상태에 도달하지 못하였으며, BHA(0.25 mg/mL)와 BHT(0.25 mg/mL)는 30분 동안 급격하게 반응한 후 완만한 변화를 보인 반면,  $\alpha$ -tocopherol(0.25 mg/mL)은 10분 이내에 정상 상태에 도달하였다(Fig. 2). 이는 Bondet V et al(1997)의 보고와 일치하는 결과로 DPPH 라디칼을 이용하여 식물성 식품에 함유된 페놀화합물의 항산화 활성을 측정할 경우, 충분한 반응시간이 필요함을 시사한다.

ABTS 측정법은 과산화 칼륨과의 반응으로 생성된 ABTS 양이온 라디칼이 항산화성 물질에 의해 제거되면서 청록색이 탈색되는 원리를 이용한 비색정량법이다(Van den Berg et al 1999). 중국산



〈Fig. 2〉 Kinetics of antioxidant activity of absolute methanol extract from mung bean compared with positive controls using DPPH assay. ●, mung bean methanol extract 1.25 mg/mL; ○, BHT 0.25 mg/mL; △, BHA 0.25 mg/mL; □,  $\alpha$ -tocopherol 0.25 mg/mL.



〈Fig. 3〉 ABTS radical scavenging activity of absolute methanol extract from mung bean at various concentrations. Each value shows the mean±SD of three parallel measurements. Bars with different letters indicate statistically significant differences among groups at  $p<0.05$  by one-way ANOVA.

녹두 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 DPPH 측정법의 결과와 같이 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며( $p<0.05$ ), 0.50, 1.50, 2.50, 3.50 및 5.00 mg/mL 농도에서 각각  $21.32 \pm 0.43$ ,  $37.19 \pm 0.75$ ,  $47.62 \pm 2.10$ ,  $60.90 \pm 2.99$  및  $70.51 \pm 2.82\%$ 로 나타났다(Fig. 3). 이는 국내산 녹두의 70% 에탄올 추출물이 0.4 mg/mL 농도에서 ABTS 라디칼

**<Table 4> The values of IC<sub>50</sub> (mg/mL) of absolute methanol extract from mung bean and positive controls for ABTS radical scavenging activity**

Mung bean	BHA	BHT	α-Tocopherol	F-value
2.828±0.353 <sup>a1)</sup>	0.097±0.003 <sup>b</sup>	0.114±0.001 <sup>c</sup>	0.072±0.001 <sup>d</sup>	179.964 <sup>***</sup>

\*\*\*  $p < 0.001$ .

1) <sup>a-d</sup> Means in a row by different superscripts are significantly different at 5% significance level by Duncan's multiple range test.

IC<sub>50</sub> values calculated denote the concentration of the sample required to decrease the absorbance at 735 nm by 50%. All values are mean±SD of triplicate determination.

소거능이 20.50%이었다는 Kim YT et al(2014)의 보고와 유사한 결과를 나타내었다. 초기 ABTS 라디칼의 50%를 소거하는데 필요한 농도(IC<sub>50</sub>)는 중국산 녹두 추출물과 양성 대조군인 BHA, BHT, α-tocopherol이 각각 2.85, 0.10, 0.11, 0.10 mg/mL로 나타나 양성 대조군보다 낮은 항산화 활성을 가지는 것으로 생각된다(Table 4).

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 대두, 팥 다음으로 이용도가 높은 녹두의 국내 생산 부족으로 수입이 증가되고 있는 중국산 녹두의 천연 항산화성 소재로 활용 시 기초자료를 제공하고자 하였으며, 중국산 녹두의 페놀성 화합물 함량과 *in vitro* 항산화 모델(DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능)을 통하여 항산화 활성을 측정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

중국산 녹두의 수분, 조회분, 조단백질, 조지방, 탄수화물 함량은 각각 8.66±0.05%, 3.26±0.08%, 24.95±0.02%, 0.78±0.05%, 62.35±0.03%이었으며, 백립중은 4.65±0.12 g이었으며, 길이와 폭은 각각 3.83±0.06 mm와 2.52±0.05 mm이었고, 분말의 명도(L), 적색도(a), 황색도(b)는 각각 83.06±0.32, 0.61±0.12, 15.04±0.35으로 분석되었다.

중국산 녹두의 메탄올 추출물과 그 원료 녹두의 총 페놀 함량은 각각 174.83±2.90 GAE mg/g과 13.25±0.22 GAE mg/g이었고, 총 플라보노이드 함량은 각각 68.87±2.84 QE mg/g과 5.22±0.22 QE

mg/g이었다.

중국산 녹두 추출물의 DPPH 라디칼 소거능은 0.31, 0.50, 0.63, 1.00, 1.25, 2.50 및 5.00 mg/mL의 농도에서 각각 14.17±3.48, 17.38±0.60, 19.32± 2.34, 24.02±3.78, 41.52±2.39, 76.54±3.41 및 82.38 ±1.42 %를 나타내었으며, 농도 의존적으로 DPPH 라디칼 소거능이 유의적으로 증가하였다( $p < 0.05$ ). 중국산 녹두 추출물(1.25 mg/mL)은 양성 대조군에 비해 DPPH 라디칼과 느리게 반응하여 60분 경과 후에도 정상 상태에 도달하지 못하였으며, BHA (0.25 mg/mL)와 BHT(0.25 mg/mL)는 30분 동안 급격하게 반응한 후 완만한 변화를 보인 반면, α-tocopherol(0.25 mg/mL)은 10분 이내에 정상 상태에 도달하는 것으로 나타나, DPPH 라디칼을 이용하여 식물성 식품에 함유된 페놀 화합물의 항산화 활성을 측정할 경우, 충분한 반응시간이 필요함을 시사하였다. 중국산 녹두 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며( $p < 0.05$ ), 0.50, 1.50, 2.50, 3.50 및 5.00 mg/mL 농도에서 각각 21.32±0.43, 37.19± 0.75, 47.62±2.10, 60.90±2.99 및 70.51±2.82%로 나타났다. 초기 ABTS 라디칼의 50%를 소거하는데 필요한 농도(IC<sub>50</sub>)는 중국산 녹두 추출물과 양성 대조군인 BHA, BHT, α-tocopherol이 각각 2.85, 0.10, 0.11, 0.10 mg/mL로 나타나, 양성 대조군보다 낮은 항산화 활성을 가지는 것으로 나타났다( $p < 0.001$ ).

이상의 결과로부터, 중국산 녹두는 국내산 녹두와 일반성분, 페놀성 화합물 함량 및 항산화 활성에 차이를 보이고, 플라보노이드를 비롯한 페놀

성 화합물이 풍부하게 함유되어 있으며, 천연물 유래 항산화성 소재로서 활용 가능성이 높은 것으로 기대된다. 본 연구는 한 품종의 중국산 녹두를 대상으로 실시하여 중국산 녹두의 품종, 재배 환경 등에 따른 특성 차이를 대표할 수 없는 한계점이 있다. 한편, No JH et al(2012)은 국내산 녹두 4품종의 80% 에탄올 추출물의 총 페놀 함량과 플라보노이드 함량, 산화 방지 활성은 품종별로 유의적인 차이를 보였으며, Lee JH & Lee SR(1994)은 시료의 품종, 숙성 시기, 껍질 색깔, 실험 절차, 추출 방법 등에 따라 분석치 간의 차이가 크므로 총 페놀 함량의 단순한 비교는 적합하지 않다고 하였다. 따라서 향후 다양한 품종의 중국산 녹두와 국내산 녹두를 대상으로 동일한 추출 조건, 분석 방법 등을 이용하여 항산화 활성, 항균 활성 등 폭넓은 기능성 구명과 생리활성 성분 분석, 기능성 소재 및 기능성 식품으로의 활용 등에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

## 한글 초록

본 연구는 이용도가 높은 녹두의 국내 생산 부족으로 수입이 증가되고 있는 중국산 녹두의 천연 항산화성 소재로 활용시 기초자료를 제공하고자 하였으며, 녹두의 메탄올 추출물의 페놀성 화합물 함량과 *in vitro* 항산화 모델(DPPH 라디칼 소거능, ABTS 라디칼 소거능)을 통하여 항산화 활성을 측정하였다. 중국산 녹두 추출물의 총 페놀 및 플라보노이드 함량은 각각 174.83±2.90 GAE mg/g 및 68.87±2.84 QE mg/g으로 나타났다. 중국산 녹두 추출물의 DPPH 라디칼 소거능과 ABTS 라디칼 소거능은 농도 의존적으로 유의적으로 증가하였으며( $p < 0.05$ ), 초기 ABTS 라디칼의 50%를 소거하는데 필요한 농도(IC<sub>50</sub>)는 2.85 mg/mL로 나타났다. 이상의 결과로부터, 중국산 녹두는 페놀성 화합물이 풍부하며, 천연물 유래 항산화성 소재로서 활용 가능성이 높은 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- 기획재정부. 2013년도 농림축산물 시장접근물량 증량. Assessed November 13. 2014. Available from: <http://www.mosf.go.kr/bbs/synap>
- 통계청. 노지 식량작물 재배면적. Assessed November 12. 2014. Available from: [http://kosis.kr/ekp/Admin/tbl\\_popup/1229562716985.html](http://kosis.kr/ekp/Admin/tbl_popup/1229562716985.html)
- AOAC (1996). Official Methods of Analysis, 16th ed. Method 950.46, Method 981.10, Method 960.39, Method 920.153. Association of Official Analytical Communities. Arlington, VA, USA.
- Beecher GR (2003). Overview of dietary flavonoids: nomenclature, occurrence and intake. *J Nutr* 133(10):3248-3254.
- 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.
- Branen AL (1975). Toxicology and biochemistry of butylated hydroxyanisole and butylated hydroxytoluene. *J Am Oil Chem Soc* 52(2):59-63.
- Cheng Z, Tian J (2011). Status and future perspectives of Vigna(mungbean and zauki bean) production and research in China. *The 14th NIAS International Workshop on Genetic Resources-Genetic Resources and Comparative Genomics of Legumes(Glycine and Vigna)*, Tsukuba, Japan, 83-86.
- Cho YJ, Ju IS, Chun SS, An BJ, Kim JH, Kim MW, Kwon OJ (2008a). Screening of biological activities of extracts from *Rhododendron mucronulatum* Turcz. flowers. *J Korean*



- Soc Food Sci Nutr* 37(3):276-281.
- Cho YJ, Ju IS, Kwon OJ, Chun SS, An BJ, Kim JH (2008b). Biological and antimicrobial activity of *Portulaca oleracea*. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 51(1):49-54.
- Choe SY, Yang KH (1982). Toxicological studies of antioxidants, butylated hydroxytoluene(BHT) and butylated hydroxyanisole(BHA). *Korean J Food Sci Technol* 14(3):283-288.
- Dewanto V, Xianzhong W, Liu RH (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50(17):4959-4964.
- Huang MT, Ho CT, Lee C (1992). Phenolic compounds in food and their effects on health II. Antioxidants and cancer prevention. ACS Symposium Series 507, Washington DC, USA, 54-71.
- 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.
- Jun TH, Nam MH, Lee SK, Park WC (1983). Changes in peroxidase activity and its isozymes of soybean, red-bean and mung-bean during germination. *J Korean Agricultural Chemical Society* 26(3):151-156.
- Kang MA, Kim MB, Kim JH, Ko YH, Lim SB (2010). Integral antioxidative capacity and antimicrobial activity of pressurized liquid extracts from 40 selected plant species. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(9):1249-1256.
- Kim AK, Kim SK, Lee AR (1995). Comparison of chemical composition and gelatinization property of mungbean flour and starch. *Korean J Soc Food Sci* 11(5):472-478.
- Kim DK, Son DM, Choi JK, Chon SU, Lee KD, Rim YS (2010). Growth property and seed quality of mungbean cultivars appropriate for labor saving cultivation. *Korean J Crop Sci* 55(3):239-244.
- Kim DK, Kim JB, Chon SU, Lee YS (2005). Antioxidant potentials and quantification of flavonoids in mung bean (*Vigna radiata* L.) seeds. *Korean J Plant Res* 8(2):122-129.
- Kim YS, Han YB, Yoo YJ, Jo JS (1981). Studies on the composition of Korean mungbean. *Korean J Food Sci Technol* 13(2):146-152.
- 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.
- Koh KJ, Shin DB, Lee YC (1997). Physicochemical properties of aqueous extracts in small red bean, mung bean and black soybean. *Korean J Food Sci Technol* 29(5):854-859.
- Lee CS (1992). Studies on the textural properties of Chinese mungbean starch. *Korean J Soc Food Sci* 8(1):1-7.
- Lee HK, Hwang IG, Kim HY, Woo KS, Lee SH, Woo SH, Lee JS, Jeong HS (2010). Physicochemical characteristic and antioxidant activities of cereals and legumes in Korea. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(9):1399-1404.
- Lee JH, Lee SR (1994). Analysis of phenolic substances content in Korean plant foods. *Korean J Food Sci Technol* 26(3):310-316.
- Lee SK, Park WC, Hong JU (1986). Isolation and characterization of two isoperoxidases from mung bean seeding. *J Korean Agricultural Chemical Society* 29(3):279-287.
- No JH, Kim HS, Lee KA, Shin M (2012). The antioxidant activities of the Korean variety mung bean hull extracts as dependent on the

- different extraction methods. *Korean J Food Cookery Sci* 28(5):605-612.
- 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.
- Oh HS, Kim JH, Lee MH (2003). Isoflavone contents, antioxidative and fibrinolytic activities of red bean and mung bean. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 19(3):263-270.
- Park JH, Kim EM (2010). Changes in the quality characteristics of mung bean starch jelly with white lotus(*Nelumbo nucifera*) root powder added. *The Korean Journal Culinary Resarch* 16(1):180-190.
- Pratt DE, Birac PM (1979). Source of antioxidant activity of soybeans and products. *J Food Sci* 44(6):1720-1722.
- Qian Y, Shin MS (2012). Effects of physicochemical and gel properties of starches purified from Korean and Chinese mungbeans with different methods. *Korean J Food Cookery Sci* 28(6):871-881.
- Robards K, Antolovich M (1997). Analytical chemistry of fruit bioflavonoids. *Analyst* 122(2): 11R-34R.
- 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.
- Roh JH, Rhee HS (1988). Physicochemical properties and gel-forming properties of corn and red bean crude starches. *Korean J Soc Food Sci* 4(1):1-8.
- Roh KS (2014). Comparison of biochemical characterization of Korean and Chinese mung bean lectin. *J of Life Sci* 24(6):603-611.
- Sakihama Y, Cohen MF, Grace SC, Yamasaki H (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology* 177(1):67-80.
- Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M (2005). Polyphenols: antioxidants and beyond. *Am J Clin Nutr* 81(1):215S-217S.
- 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.
- Shim JS, Kim SD, Kim TS, Kim K (2005). Biological activities of flavonoid glycosides isolated from *Angelica keiskei*. *Korean J Food Sci Technol* 37(1):78-83.
- Song JC (1994). Food Material Science, Kyomoon Publishing Co., 247-249, Seoul.
- 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.

---

2014년 11월 27일 접수  
2015년 02월 13일 1차 논문수정  
2015년 03월 06일 2차 논문수정  
2015년 04월 06일 3차 논문수정  
2015년 04월 15일 논문 게재확정