

검은 콩 및 노란 콩의 품질 특성 및 콩 부위별 항산화 활성

이란숙 · 최은지 · 김창희 · 김영봉 · 금준석 · 박종대*
한국식품연구원

Quality Characteristics and Antioxidant Properties of Black and Yellow Soybeans

Lan-Sook Lee, Eun-Ji Choi, Chang-Hee Kim, Young-Boong Kim, Jun-Seok Kum, and Jong-Dae Park*
Korea Food Research Institute

Abstract The objective of this study was to investigate the content of phenolic compounds and their contribution to antioxidant activity in the seed coats, dehulled and whole black and yellow soybeans. The total phenolic and total anthocyanin contents were analyzed. FRAP, DPPH and ABTS assays were carried out to determine the antioxidant activities. The 100-seed weight and color values were also analyzed. Black seed coats had significantly greater total phenolic and total anthocyanin contents as compared to whole beans, dehulled beans, and yellow seed coats. Moreover, black seed coats exhibited the highest antioxidant activity among the samples, regardless of the utilized method. The antioxidant activities determined in all assays positively correlated with the total phenolic ($0.980 \leq r \leq 0.991$) and anthocyanin contents ($0.990 \leq r \leq 0.997$) as well as among themselves ($0.992 \leq r \leq 0.996$). It is anticipated that the information generated from this study will help support the development of soybean products for improving health.

Keywords: soybean, antioxidant activity, ferric reducing antioxidant power

서 론

콩(Soybean, *Glycine max.* L)은 고대 중국의 만주지방이 원산지로서 다른 작물 및 곡류와 비교하여 볼 때, 약 40%의 단백질, 약 20%의 지방 및 약 35%의 탄수화물을 함유하고 있는 고단백, 고에너지 식품의 중요한 공급원이라고 할 수 있다(1). 또한 콩에는 이소플라본, 레시틴, 사포닌 등 다양한 생리활성 물질을 함유하고 있어 심혈관계 질환의 위험을 예방할 뿐 만 아니라 항암 및 항균 등의 효과를 갖는 것으로 알려져 있다(2).

콩은 흑, 황, 백, 청 등 종피 색깔에 따라 다양한 종류의 콩이 있으며 일반적으로 종피, 자엽 및 배아 부분으로 나눌 수 있다. 콩의 자엽에는 탄수화물, 단백질, 지방 등의 물질이 함유되어 있고, 종피는 배유를 보호하는 부분으로 phenolic 화합물이 높은 농도로 함유되어 있다(3-5). 특히 어두운 종피색을 갖는 검은 콩은 종피에 다량 함유되어 있는 anthocyanin에 의해 강력한 항산화 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다(6-9).

콩의 용도는 매우 다양하며 우리나라에서는 된장, 고추장 등 장류나 콩기름, 두부, 두유 등 가공식품 제조용으로 노란 콩이 주로 사용되었고, 반찬, 혼반용 등 식재료 용도로는 검은 콩이 주로 사용되었다. 가공식품 제조시 대부분의 콩은 종피를 제거한 후 이용하였다. 그러나 최근에 검은 콩의 종피에 의한 항산화, 혈

전 용해 등 여러 가지 생리활성 효과가 밝혀지면서(10-12) 혼반용으로 대부분 이용되던 검은 콩은 두유, 스낵 등 가공식품 제조를 위한 원료로의 이용이 증대되고 있으나 국내산 검은 콩인 흑태 및 서리태 그리고 노란 콩인 백태의 각 부위에 대한 항산화 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 가공식품 용도에 맞게 콩에 함유되어 있는 생리활성 물질들을 보다 효율적으로 활용하기 위한 기초 자료를 얻고자 강원도 정선산 검은 콩과 노란 콩을 대상으로 종피 및 종피 제거 전과 후의 콩의 총 페놀 및 총 안토시아닌 함량 그리고 그들의 항산화 활성을 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 시약

실험에 사용한 콩(*Glycine max* L.)은 2013년도 강원도 정선에서 생산된 것으로 검은 콩은 흑태 및 서리태를 그리고 노란 콩은 백태를 대상으로 하였다. 시료 콩은 강원도 정선 소재 농협에서 구입하였고, 콩 종피를 손으로 벗겨내어 종피 및 배아를 포함하는 자엽 부분으로 구분 후 각각 분쇄하여 4°C에 저장하면서 분석용 시료로 사용하였다. 콩의 항산화 활성 측정용 시약으로 Folin-Ciocalteu's phenol reagent, sodium carbonate, gallic acid, sodium acetate, (+)-6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox), 2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ), 2,2'-Azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS), 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH), ferric chloride hexahydrate, potassium chloride, potassium persulfate는 Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA) 제품을, acetone, hydrochloric acid는 Junsei Chemical Co. (Tokyo, Japan) 제품을 사용하였다.

*Corresponding author: Jong-Dae Park, Korea Food Research Institute, Seongnam, Gyeonggi 463-746, Korea
Tel: 82-31-780-9211
Fax: 82-31-709-9876
E-mail: jdpark@kfri.re.kr
Received July 26, 2014; revised September 22, 2014;
accepted September 23, 2014

추출물 제조

콩 폐놀 및 총 안토시아닌 색소 분석과 항산화 활성 측정을 위한 콩 추출물은 각 시료 분말에 10배의 80% acetone (v/v)을 넣어 shaking incubator (Jeio Tech Co., Ltd., Daejeon, Korea)를 사용하여 20°C에서 12시간 교반 추출 하였으며 0.45 µm membrane filter (Sartorius, Göttingen, Germany)로 여과하여 분석용 시료로 사용하였다.

백립중 측정

콩의 백립중(100-seed weight) 측정을 위해 선별된 건전립을 100 개씩 취하여 3회 반복 측정하였으며 평균과 표준편차로 나타내었다.

색도 분석

콩의 종피 제거 전과 후의 색도 측정을 위해 투명한 플라스틱 원통용기(35×10 mm)에 담아 색차계(CM-2500D, Minolta, Tokyo, Japan)를 사용하여 L 값(lightness), a 값(redness), b 값(yellowness)을 측정하였다. 색도 값은 각각 3개씩 준비하여 3회 반복 측정하였으며 평균과 표준편차로 나타내었다.

Total phenolic 함량 측정

콩 폐놀 화합물 정량은 Folin-Ciocalteu 변법(13)에 따라 기존 UV spectrophotometer를 이용하는 대신 96 well microplate에 시료를 분주하여 microplate reader (BioTek Instruments Inc., Winooski, VT, USA)를 이용하여 측정하였다. 시료용액 20 µL에 Folin-Ciocalteu 시약 100 µL를 가하고 8분 후에 7.5% Na₂CO₃ 80 µL를 가한 후 2시간 방치 후에 765 nm에서 흡광도를 측정하였으며 gallic acid equivalent (GAE)로 환산하여 mg GAE/g으로 나타내었다.

Total anthocyanin 함량 측정

콩 안토시아닌 함량은 Lee 등(14)의 pH differential method에 따라 분광광도계(V-530, JASCO Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 추출물은 0.025 M potassium chloride buffer (pH 1.0)와 0.4 M sodium acetate buffer (pH 4.5)로 520 nm에서 흡광도 값이 0.2-1.4 범위에 들도록 희석한 후 520 및 700 nm에서 흡광도를 측정하였으며 cyanidin-3-glucoside equivalent (CyE)로 환산($\epsilon=26,900 \text{ LM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, MW=449.2 gM⁻¹) 하여 mg CyE/g으로 나타냈다.

Ferric reducing antioxidant power (FRAP) 측정

FRAP 활성은 Benzie와 Strain의 방법(15)을 일부 변형하여 96 well microplate에 시료를 분주하여 microplate reader (Biotek Instruments Inc., Winooski, VT, USA)로 측정하였다. 시료 용액 10 µL에 10 mM TPTZ/40 mM HCl, 20 mM ferric chloride (Sigma Chemical Co.) 및 300 mM acetate buffer (pH 3.6)를 1:1:10 (v/v/v)의 비율로 혼합하여 제조한 FRAP reagent 300 µL를 가한 후 실온에서 10분 방치 후에 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로 Trolox (Sigma Chemical Co.)를 사용하여 얻은 표준곡선($y=1.0573x+0.0122$, $r^2=0.9994$)으로부터 시료의 항산화 활성을 Trolox equivalent (TE)로 환산하여 mM TE/g으로 나타냈다.

DPPH 및 ABTS radical 소거활성 측정

시료의 DPPH radical 소거활성은 Brand-Williams 등의 방법(16)을 일부 변형하여 96 well microplate에 시료를 분주하여 microplate reader로 측정하였다. 시료 용액 10 µL에 0.12 mM DPPH 용

액 190 µL를 가한 후 실온에서 30 분 방치 후에 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로 Trolox를 사용하여 얻은 표준곡선($y=-0.5895x+0.7067$, $r^2=0.9995$)으로부터 시료의 항산화 활성을 Trolox equivalent (TE)로 환산하여 mM TE/g으로 나타냈다.

ABTS radical 소거활성은 Thaipong 등의 방법(17)을 일부 변형하여 96 well microplate에 시료를 분주하여 측정하였다. 7.4 mM ABTS와 2.6 mM potassium persulphate (Sigma Chemical Co.)를 1:1 (v/v) 비율로 혼합하고 16시간 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 phosphate buffered saline (pH 7.4)을 이용하여 734 nm에서 흡광도 값이 0.9-1.0이 되도록 희석하였다. 시료 용액 10 µL에 희석된 ABTS radical 용액 190 µL를 가한 후 실온에서 60분 방치 후에 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 표준물질로 Trolox를 사용하여 얻은 표준곡선($y=-0.5029x+0.7788$, $r^2=0.9972$)으로부터 시료의 항산화 활성을 trolox equivalent (TE)로 환산하여 mM TE/g으로 나타냈다.

통계처리

모든 분석결과는 SPSS program (SPSS version 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 통계처리 하였으며, 분산분석 (ANOVA)을 이용하여 5% 수준에서 Duncan의 다중범위검정을 실시하여 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

무게 특성

콩 품종에 따른 콩 종실의 무게 특성을 조사하기 위해 백립중 및 종피 제거 전후의 종실의 무게를 측정한 결과를 Table 1에 나타내었다. 백립중은 서리태가 39.1 g으로 가장 높게 나왔으며 흑태 32.5 g 및 백태 31.4 g 순으로 나타났다. 백립중은 콩 100알의 무게로서 콩 수율에 영향을 미치는 중요한 요인으로 콩의 백립중은 6-55 g인 것으로 보고되어 있으며, 백립중 무게에 따라 소립종, 중립종 및 대립종으로 나눌 수 있다(18,19). 또한 백립중은 콩의 가공 적성에도 영향을 미치며 소립종은 나물용 그리고 중립종 및 대립종은 장류, 두유, 두부, 혼반용 등으로 주로 이용된다(20). 전체 종실에 대한 종피 제거 후 자엽의 무게 비는 백태가 94.4%로 가장 높았으며 흑태와 서리태가 92.6%로 유의적 차이가 없었다($p<0.05$). 반면, 종피의 무게 비는 흑태와 서리태가 7.4%로 유의적 차이가 없었으며 백태는 5.5%로 가장 낮게 나타났다($p<0.05$). 일반적으로 콩과 식물 종실의 자엽, 배아 및 종피의 무게 비는 각각 89%, 1% 및 10%인 것으로 보고되고 있다(3).

색도 특성

콩의 색은 가공 적성에 영향을 미치는 중요한 인자로서 콩 전

Table 1. Hundred-seed weight, and percent distribution of dehulled and seed coat of black and yellow soybeans

	100-seed weight (g)	weight distribution to whole bean (%)	
		dehulled bean	seed coat
Huktae	32.53±0.33 ^b	92.57±0.47 ^b	7.42±0.47 ^a
Seoritae	39.13±1.16 ^a	92.62±0.55 ^b	7.37±0.57 ^a
Baktae	31.37±0.56 ^c	94.44±0.12 ^a	5.54±0.13 ^b

All values are mean±SD. Values within a column with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $p<0.05$.

Table 2. Color values in whole and dehulled beans of black and yellow soybeans

	Whole bean			Dehulled bean		
	L	a	b	L	a	b
Huktae	29.10±0.38 ^b	-0.05±0.04 ^b	-0.22±0.16 ^b	51.64±2.75 ^a	2.06±0.42 ^a	17.72±1.43 ^a
Seoritae	30.42±1.04 ^b	-0.12±0.05 ^b	-0.40±0.04 ^b	44.05±2.10 ^b	-5.66±0.52 ^b	12.93±1.31 ^b
Baktae	50.57±1.71 ^a	2.95±0.34 ^a	14.02±0.74 ^a	51.50±3.24 ^a	2.21±0.40 ^a	17.83±1.86 ^a

All values are mean±SD. Values within a column with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

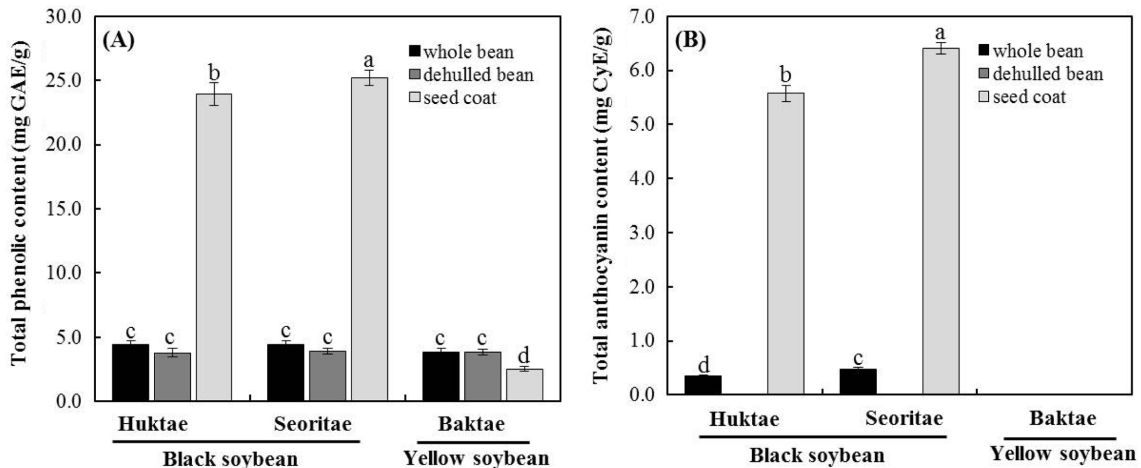


Fig. 1. Total phenolic (A) and total anthocyanin (B) contents in different parts of black and yellow soybeans. All values are mean±SD on a dry weight basis. Values marked above the bar with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

체 표면에 대한 색과 종피 제거 후의 배아를 포함한 자엽에 대한 색으로 나뉘 L, a, b값을 측정하였다. 그 결과 Table 2에 나타난 바와 같이 콩 표면의 종피 색은 백태에서 L값 50.57, a값 2.95 그리고 b값 14.02로 유의적으로 가장 높게 나타난 반면 흑태와 서리태 사이에는 유의적 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$). 종피 제거 후의 자엽 표면에 대한 색은 흑태와 백태에서 각각 L값은 51.64 및 51.50, a 값은 2.06 및 2.21 그리고 b값은 17.72 및 17.83으로 L, a, b값 모두 유의적으로 가장 높게 나타난 반면 서리태에서 가장 낮게 나타났다. 특히 서리태의 a 값은 -5.66으로 흑태와 백태의 노란색과 달리 녹색에 가까운 것을 알 수 있었다. Kim(21)에 의하면 검은 콩 및 노란 콩 종실 전체를 분말화 한 후 색도를 측정된 결과 검은 콩은 L값 67.3-70.8, a값 -2.5- -6.2 및 b값은 19.4-23.45로 보고하였으며 노란 콩은 L값 81.74, a값 -0.8 및 b값 28.1로 보고하여 본 실험과 상이한 결과를 나타냈으나 이는 콩 시료의 물리적인 형태의 차이에 의한 것으로 사료된다. 또한 Xu 등(9)은 전체 콩에 대한 종피의 색도 측정에서 검은 콩의 L값은 37.2, a값은 0.7 및 b값은 -1.5를 나타냈으며 노란 콩의 L값은 57.2-58.3, a값은 3.5-4.7 및 b값은 15.8-16.4를 나타내어 본 실험과 유사한 결과를 보여주었다.

Total phenolic 및 Total anthocyanin 함량

콩에 함유되어 있는 phenolic acid, anthocyanin, isoflavone 등 페놀 화합물은 우수한 항산화 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다. 검은 콩 및 노란 콩 종피 제거 전과 후의 시료에 대한 주된 항산화 물질인 총 페놀 화합물 및 총 안토시아닌 함량에 대한 분석 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 총 페놀 화합물은 검은 콩인 서리태 및 흑태 종피에서 각각 25.2 및 23.9 mg/g으로 노란 콩인 백태 종피에서의 2.5 mg/g 보다 약 10배 정도 높게 나타났으며, 종

피 제거 전의 원료 콩에서의 총 페놀 화합물과 종피 제거 후의 자엽 중에 함유된 총 페놀 화합물은 3.8-4.4 mg/g으로 모든 콩에서 유의적 차이를 보이지 않았다($p < 0.05$). 안토시아닌은 검은 콩 종피의 주 색소 물질로서 서리태 종피에서 6.4 mg/g으로 가장 높게 나타났으며 흑태 종피 또한 5.6 mg/g으로 높은 함량을 나타내었다. 종피 제거 전의 콩에서의 총 안토시아닌 함량도 서리태에서 0.47 mg/g으로 흑태 0.35 mg/g 보다 높게 함유되어 있었다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 원료 콩에서 종피가 차지하는 비율이 흑태와 서리태 간에 유의적 차이가 없는 반면 종피에서의 총 안토시아닌 함량은 서리태에서 더 높게 나타나 결과적으로 원료 콩에서의 총 안토시아닌 함량도 서리태에서 더 높게 나타난 것으로 사료된다. Kim 등(2)에 의하면 미국산 콩 27 품종, 중국산 콩 68 품종 및 한국산 콩 109 품종에 대한 총 페놀 화합물의 평균 함량을 측정된 결과 미국산 2.73 mg/g, 중국산 1.68 mg/g 및 한국산 1.98 mg/g임을 보고한 바 있으며, Lin 등 (22)은 대만산 검은 콩에는 총 페놀 화합물이 5-9 mg/g 함유되어 있음을 보고하였다. 또한 Xu 등(5)은 미국산 검은 콩에 대한 총 페놀 화합물에 대한 연구에서 종피 제거 전의 콩에서는 약 9 mg/g, 종피 제거 후 자엽에서는 약 2 mg/g 그리고 종피에서는 약 66 mg/g의 페놀 화합물이 함유되어 있음을 보고한 바 있다. 검은 콩의 총 안토시아닌 함량에 대한 연구로 Xu 등(5)은 미국산 검은 콩의 종피에는 약 6.3 mg/g 그리고 종피 제거 전의 콩에는 약 0.6 mg/g 함유되어 있음을 보고하여 본 연구의 서리태에서의 함량과 비슷한 경향을 보였다.

항산화 활성

검은 콩과 노란 콩의 항산화 활성은 FRAP, DPPH 및 ABTS assay를 이용하여 trolox equivalent (TE)로 환산하여 측정하였으며

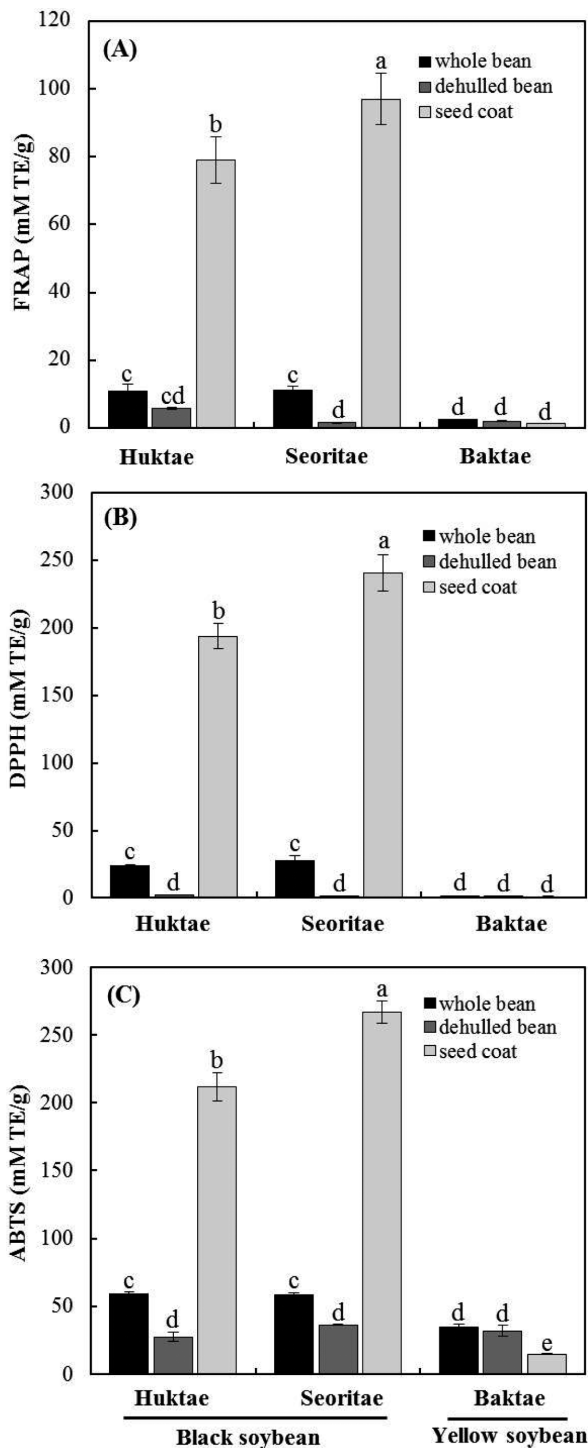


Fig. 2. Antioxidant activities in different parts of black and yellow soybeans as determined by the FRAP (A), DPPH (B) and APTS (C) assays. All values are mean±SD on a dry weight basis. Values marked above the bar with different letters are significantly different by ANOVA with Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

그 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 시료에서의 항산화 활성은 측정 방법에 상관없이 서리태의 종피에서 96.9-266.8 mM로 가장 높게 나타났고, 콩 부분별로는 자엽에서 그리고 콩 종류별로는 백태에서 낮게 나타났다. 콩에서 항산화 활성을 나타내는 것으로 알려진 물질로는 chlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid 등 phe-

nolic acids와 kaempferol, quercetin, genistein, daidzein 등의 flavonoid aglycone 또는 glycosides, 그리고 trypsin inhibitor 등이 있다(23). 특히 검은 콩 종피에는 배당체 형태로 함유되어 있는 안토시아닌에 의해 강력한 항산화 활성을 나타내는 것으로 알려져 있으며(6-9), 노란 콩 종피에는 lutein 등 carotenoids 물질이 함유되어 있어 항산화 활성을 나타내는 것으로 보고되고 있다(24). Anthocyanin은 알뿌리, 과일, 야채, 곡류 등의 적색, 청색, 자색 등을 나타내는 수용성 색소의 phenolic 화합물로서 검은 콩에서는 cyanindin-3-glucoside의 존재를 시작으로 delphinidin-3-glucoside, pelargonidin-3-glucoside, petunidin-3-glucoside 등이 확인되었다(25-27). FRAP, DPPH 및 ABTS assay는 항산화 활성 측정을 위해 가장 많이 사용되는 electron transfer에 기초한 방법으로서 Floegel 등(28)에 의하면 친수성 및 색소 물질을 함유하는 식물성 식품의 항산화 활성 측정은 DPPH 방법보다 ABTS 방법에서 더 높은 값을 나타낸다고 보고하였다. 본 연구에서도 안토시아닌을 함유하는 흑태 및 서리태 종피의 항산화 활성은 $FRAP < DPPH < ABTS$ 순으로 증가하는 경향을 보였으며, 자엽에 대한 항산화 활성도 그와 비슷한 경향을 나타내었다. 따라서 항산화 활성은 측정 방법에 따라 결과에 차이가 있으므로 한 가지 방법 보다는 여러 가지 방법을 동시에 사용하여 분석하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

한편, 항산화 성분과 항산화 활성과의 상관 관계를 분석한 결과 Table 3에 나타낸 바와 같이 상관 계수 값(Pearson's Correlation Coefficient, r)이 0.9 이상으로 모든 항목에서 높은 유의적인 양의 상관 관계($p < 0.01$)가 있는 것으로 나타났다. 특히, 총 안토시아닌 함량은 총 페놀 화합물보다 항산화 활성에 대한 영향이 더 큰 것으로 나타났으며 항산화 활성 중 DPPH에 대한 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다($r = 0.997$). Xu 등(5)은 콩의 총 페놀 화합물은 DPPH, FRAP 및 oxygen radical absorbance capacity (ORAC) 활성과 높은 상관 관계($r = 0.99$, $p < 0.0001$)가 있음을 보고하였고, Tyug 등(29) 또한 콩의 총 페놀 화합물은 FRAP ($r = 0.85$, $p < 0.01$) 및 ABTS ($r = 0.95$, $p < 0.01$) 활성과 높은 상관성이 있음을 보고하였다.

요 약

검은 콩 흑태, 서리태 및 노란 콩 백태를 대상으로 백립중, 색도 등 물리적 특성과 종피 제거 전과 후의 각 부분에 대한 항산화 성분 및 항산화 활성에 대해 비교 분석하였다. 백립중은 서리태가 39.1 g으로 가장 높게 나타났고 전체 종실에 대한 자엽의 무게 비는 백태가 94.4%로 가장 높았다. 콩 표면의 종피 색은 백태에서 그리고 자엽 표면에 대한 색은 흑태와 백태에서 L, a, b 값 모두 유의적으로 가장 높게 나타났으며 특히 서리태 자엽의 a 값은 -5.66으로 자엽 표면의 색이 녹색에 가까운 것을 알 수 있었다. 총 페놀 화합물은 서리태 종피에서 25.2 mg/g으로 가장 높게 나타났으며 총 안토시아닌 함량 또한 서리태 종피에서 6.4 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타내었다. 항산화 활성은 측정 방법에 상관없이 서리태의 종피에서 가장 높게 나타났으며 반면, 콩 부분별로는 자엽에서 그리고 콩 종류별로는 백태에서 전반적으로 낮게 나타났다. 항산화 성분과 항산화 활성과의 상관 관계 분석 결과에서는 모든 항목에서 상관계수 값은 0.9 이상으로 높은 양의 상관 관계($p < 0.01$)가 있는 것으로 나타났으며 특히, 총 안토시아닌 함량과 DPPH 활성과의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났다($r = 0.997$). 따라서 검은 콩 및 노란 콩 각 부분에 대한 항산화 성분과 활성에 대한 이상의 연구 결과는 건강 증진을 위한 콩 제품 개발시 콩의 효율적인 사용을 위해 유용할 것으로 사료된다.

Table 3. Correlations between antioxidant activity and phenolic contents of black and yellow soybeans

	Pearson's Correlation Coefficient (r)				
	TPC	TAC	FRAP	DPPH	ABTS
TPC ¹⁾	1	0.997** ³⁾	0.989**	0.991**	0.986**
TAC ²⁾	0.997**	1	0.995**	0.997**	0.990**
FRAP	0.989**	0.995**	1	0.996**	0.992**
DPPH	0.991**	0.997**	0.996**	1	0.996**
ABTS	0.986**	0.990**	0.992**	0.996**	1

¹⁾TPC: total phenolic content

²⁾TAC: total anthocyanin content

³⁾The magnitude of correlation between variables was quantified by the correlation coefficient r. Two-tailed *p* value: two asterisks, *p*<0.01

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가식품기술개발사업에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Liu KS. Chemistry and nutritional value of soybean components. pp. 25-113. In: Soybean. Chapman & Hall, New York, NY, USA (1997)
- Kim EH, Ro HM, Kim SL, Kim HS, Chung IM. Analysis of isoflavone, phenolic, soyasapogenol, and tocopherol compounds in soybean (*Glycine max.* (L.) Merrill) germ plasmas of different seed weights and origins. *J. Agr. Food Chem.* 60: 6045-6055 (2012)
- Dueñas M, Hernández T, Estrella I. Assessment of *in vitro* antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. *Food Chem.* 98: 95-103 (2006)
- Dueñas M, Estrella I, Hernández T. Occurrence of phenolic compounds in the seed coat and the cotyledon of peas (*Pisum sativum* L.). *Eur. Food Res. Technol.* 219: 116-123 (2004)
- Xu B, Chang SKC. Antioxidant capacity of seed coat, dehulled bean, and whole black soybeans in relation to their distributions of total phenolics, phenolic acids, anthocyanins, and isoflavones. *J. Agr. Food Chem.* 56: 8365-8373 (2008)
- Takahashi R, Ohmori R, Kiyose C, Momiyama Y, Ohsuzu F, Kondo K. Antioxidant activities of black and yellow soybeans against low density lipoprotein oxidation. *J. Agr. Food Chem.* 53: 4578-4582 (2005)
- Xu BJ, Yuan SH, Chang SKC. Comparative studies on the antioxidant activities of nine common food legumes against copper-induced human low-density lipoprotein oxidation *in vitro*. *J. Food Sci.* 72: S522-S527 (2007)
- Furuta S, Takahashi M, Takahata Y, Nishiba Y, Oki T, Masuda M. Radical-scavenging activities of soybean cultivars with black seed coats. *Food Sci. Technol. Res.* 9: 73-75 (2003)
- Xu BJ, Yuan SH, Chang SKC. Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. *J. Food Sci.* 72: S167-S177 (2007)
- Joo EY, Park CS. Antioxidative and fibrinolytic activity of extracts from soybean and *chungkukjang* (fermented soybeans) prepared from a black soybean cultivar. *Korean J. Food Preserv.* 17: 874-880 (2010)
- Sa JH, Shin IC, Jeong KJ, Shim TH, Oh HS, Kim YJ, Cheung EH, Kim GG, Choi DS. Antioxidative activity and chemical characteristics from different organs of small black soybean (yak-kong) grown in the area of Jungsun. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 309-315 (2003)
- Yi ES, Yi YS, Yoon ST, Lee HG. Variation in antioxidant components of black soybean as affected by variety and cultivation region. *Korean J. Crop Sci.* 54: 80-87 (2009)
- Slinkard K, Singleton VL. Total phenol analyses: automation and comparison with manual methods. *Am. J. Enol. Viticult.* 28: 49-55 (1977)
- Lee J, Durst RW, Wrolstad RE. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *J. AOAC Int.* 88: 1269-1278 (2005)
- Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76 (1996)
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30 (1995)
- Thaipong K, Boonprakob U, Crosby K, Cisneros-Zevallos L, Byrne DH. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *J. Food Compos. Anal.* 19: 669-675 (2006)
- Burriss JS, Edje OT, Wahab AH. Effect of seed size on seedling performance in soybeans. II. Seedling growth and photosynthesis and field performance. *Crop Sci.* 13: 207-210 (1973)
- Smith TJ, Camper HM Jr. Effect of seed size on soybean performance. *Agron. J.* 67: 681-684 (1975)
- Lee SJ, Kim JJ, Moon HI, Ahn JK, Chun SC, Jung WS, Lee OK, Chung IM. Analysis of isoflavones and phenolic compounds in Korean soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) seeds of different seed weights. *J. Agr. Food Chem.* 56: 2751-2758 (2008)
- Kim S. Preparation and quality characteristics of *tofu* with black beans. MS thesis, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Korea (2007)
- Lin PY, Lai HM. Bioactive compounds in legumes and their germinated products. *J. Agr. Food Chem.* 54: 3807-3814 (2006)
- Slavin M, Cheng Z, Luther M, Kenworthy W, Yu LL. Antioxidant properties and phenolic, isoflavone, tocopherol and carotenoid composition of Maryland-grown soybean lines with altered fatty acid profiles. *Food Chem.* 114: 20-27 (2009)
- Monma M, Terao J, Ito M, Saito M, Chikuni K. Carotenoid components in soybean seeds varying with seed color and maturation stage. *Biosci. Biotech. Bioch.* 58: 926-930 (1994)
- Katsuzaki H, Hibasami H, Ohwaki S, Ishikawa K, Imai K, Date K, Kimura Y, Komiya T. Cyanidin-3-O-β-D-glucoside isolated from skin of black *Glycine max* and other anthocyanins isolated from skin of red grape induce apoptosis in human lymphoid leukemia Molt 4B cells. *Oncol. Rep.* 10: 297-300 (2003)
- Yoshida K, Sato Y, Okuno R, Kameda K, Isobe M, Kondo T. Structural analysis and measurement of anthocyanin from colored seed coats of *Vigna*, *Phaseolus*, and *Glycine* legumes. *Biosci. Biotech. Bioch.* 60: 589-593 (1996)
- Choung MG, Baek IY, Kang ST, Han WY, Shin DC, Moon HP, Kang KH. Isolation and determination of anthocyanins in seed coat of black soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *J. Agr. Food Chem.* 49: 5848-5851 (2001)
- Floegel A, Kim DO, Chung SJ, Koo SI, Chun OK. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *J. Food Compos. Anal.* 24: 1043-1048 (2011)
- Tyug TS, Prasad KN, Ismail A. Antioxidant capacity, phenolics and isoflavones in soybean by-products. *Food Chem.* 123: 583-589 (2010)