

재배지역에 따른 검정콩 부위별 추출물의 항산화 활성

†김현영 · 우소연* · 양지영* · 송승엽 · 서우덕** · 이미자** · 최만수**

농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과 농업연구사,
*농촌진흥청 국립식량과학원 작물기초기반과 박사후연구원, **농촌진흥청 국립식량과학원 농업연구관

Antioxidant Activities of Various Black Soybean Tissues (*Glycine max* L.) Harvested from Different Cultivation Regions

†Hyun Young Kim, So-Yeun Wo*, Ji Yeong Yang*, Seung-Yeob Song,
Woo Duck Seo**, Mi Ja Lee** and Man-Soo Choi**

Associate Researcher, Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
*Postdoctoral Associate, Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea
**Research Officer, Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

Abstract

With the aim of developing region specialized crops, this study was conducted to clarify effects of variant and cultivation region on antioxidative activities in various black soybean (*Glycine max* L.) seed tissues. Three black soybean varieties (SCEL-1, Wonheug, and Cheongja 3) were each cultivated in 4 different regions (Jeonju, Pyeongchang, Paju, and Cheonan). Harvested seeds were used to assess DPPH and ABTS radical scavenging activity, and total polyphenol, flavonoid and anthocyanin content. SCEL-1 soybean hull contained higher DPPH and ABTS radical scavenging activity (61% and 85% respectively) compared to Wonheug (40% and 50% respectively). SCEL-1 cultivated in Pyeongchang displayed the highest total polyphenol and flavonoid content (1,189 mg GAE/100g sample and 951 mg CTE/100g sample, respectively). Total anthocyanin content was ranked in the following order: SCEL-1>Wonheug>Cheongja 3. All black soybeans showed much higher antioxidant activity in the soybean hull than in the dehulled soybean. The antioxidant activity of black soybeans cultivated at high latitudes was high. These results suggest that the best black soybean variant for high beneficial biological activities is the SCEL-1 variant. For a complete understanding of the potential of black soybean as functional foods, we plan to further analyze their antioxidant activities in future studies.

Key words: black soybean (*Glycine max* L.), antioxidant activities, total polyphenol, anthocyanin

서론

우리나라에서 삼한시대부터 재배되어온 콩은 우리 식생활에 필수적인 요소로 장류 및 두부, 나물 등 다양한 방식으로 섭취하고 있다. 또한 콩에 함유되어 있는 다량의 단백질(30~45%), 불포화지방을 포함한 지방(18~22%), 식이섬유를 포함한 무기질 등을 함유하고 있으며, 영양성분 이외에 여러 가지 기능성 성분들이 함유되어 있음이 지속적으로 연구되

어 보고되고 있다(Fiat 등 1993). 콩은 기능성 2차 대사산물인 다른 작물에 비하여 다양하고 높은 함량을 함유하고 있으며, 대표적으로 이소플라본과 소야사포닌이 있다. 또한 콩이 함유하고 있는 폴리페놀성 화합물은 항암, 항산화, 항바이러스, 면역증강 등 여러 기능성 효과가 있는 것으로 보고되었다(Kim 등 2008).

세계적으로 콩의 성인병 예방 및 치료에 대한 효능은 널리 알려져 있으며(Messina 등 2002), 특히 유색콩 중 검정콩의

† Corresponding author: Hyun Young Kim, Associate Researcher, Division of Crop Foundation, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea. Tel: +82-63-238-5334, Fax: +82-63-238-5305, E-mail: hykim84@korea.kr

생리활성 및 항산화 활성에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다(Kim 등 2004). 검정콩은 껍질(종피)에 항산화성분으로 알려진 특정 안토시아닌이 다량 함유되어 있고, 대부분 밥밀콩, 콩자반, 떡가공 등으로 이용되어 왔으며(Oh 등 1992; Choung 등 2008), 과거에는 한약재로도 종종 사용되었다(Son 등 2002). 2000년대 이후부터 건강에 대한 국민적 관심이 지속적으로 높아지고 컬러푸드 및 블랙푸드에 대한 여러 연구가 발표되고 있는 가운데 검정콩의 다양한 기능성을 연구하고 소재를 개발하여 가공제품을 개발 판매하고 있으며, 검정콩을 이용하는 식품들은 영양성분이 많기로 알려진 껍질까지 포함하여 사용하고 있다(Son 등 2002).

지금까지 국산 검정콩 1호를 포함한 13개 품종과 국내산 검정콩의 안토시아닌 함량 변화 분석 연구가 보고되었으며(Joo 등 2004; Choung 등 2008), 재배년도(Joo 등 2004), 재배지역(Yi 등 2009), 재배높이(Shin 등 2009)에 따라 검정콩의 안토시아닌 함량 변화를 연구하였다. 그러나 다양한 조건에서 검정콩의 안토시아닌 함량 변화 외 항산화 활성 및 성분 에 대한 연구에 대한 결과는 찾아보기 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 검정콩 영양 및 생리활성 성분에 영향을 줄 수 있는 ‘품종, 재배지역 및 종실 부위’별 항산화 활성물질 함량 변화를 살펴보고자, 각각의 총 폴리페놀, 플라보노이드 및 안토시아닌 함량, DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능 등 항산화 성분 및 활성을 분석하여, 추후 항산화 활성이 우수한 검정콩 활용 및 산업화 소재화를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에 사용된 검정콩은 SCEL-1, 원흑(Wonggeug) 및 청자3호(Cheongja 3)를 이용하였으며, 재배 지역은 각각 위도별로 평창(북위 37.22, 연평균 10.2°C), 파주(북위 37.54, 연평균 11.1°C), 전주(북위 35.49, 연평균 13.1°C) 및 천안(북위 36.48, 연평균 12.2°C)에서 2020년도에 콩 표준 재배법으로 재배한 것이며, 품종 및 재배지역별 검은콩은 종피(Soybean hull) 및 종실속(Dehulled soybean)으로 나누어 본 실험에 사용하였다. 모든 실험 재료는 4°C 냉장고에 저장하면서 실험에 사용하였다.

2. 메탄올 추출물 제조

메탄올 추출물 제조는 각각 부위별 샘플을 실험용 분쇄기(NSG-100 2SS, Hanil, Seoul, Korea)로 분쇄한 후 샘플 각 1 g에 100% 메탄올 20 mL를 첨가하여 24시간동안 교반추출하였다. 교반추출한 후 원심분리(2,100 g, 15 min) 및 여과

(Whatman No. 2, GE Healthcare Bio-Sciences AB, Uppsala, Sweden) 하는 과정을 2회 반복 추출 하였다. 최종 추출용매는 진공회전농축기(N-1000, EYELA, Tokyo, Japan)를 이용하여 농축한 후 고형분을 이용하였으며, 모든 샘플은 -20°C에 보관하며 활성 분석 시료로 사용하였다.

3. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성 측정

추출물에 대한 DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 Lee YR(2021)의 방법을 참고하여 측정하였다. DPPH 라디칼 소거활성은 96well plat를 활용하여 측정하였으며, 99.9% 에탄올을 이용하여 0.2 mM DPPH 용액을 제조한 후, 라디칼 용액 200 μ L에 시료 10 μ L를 첨가하고 25°C에서 30분간 암반응 후 520 nm에서 흡광도를 측정하였다.

ABTS radical 소거활성은 ABTS 7.4 mM과 potassium persulphate 2.6 mM을 증류수에 녹여 24시간 동안 암소에 방치하여 ABTS 양이온을 형성시켰다. 그 후 이 용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4-1.5가 되도록 물 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 200 μ L에 추출액 10 μ L를 가하여 암반응하였으며, 흡광도의 변화를 정확히 30분 후에 측정하였다. DPPH 및 ABTS radical 소거활성은 샘플 농도 1 mg/mL일 때 라디칼 소거능을 ‘%’로 표시하였다.

4. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 측정

재배지역에 따른 각각의 유색콩 종피와 종실속 추출물에 대한 총 폴리페놀과 플라보노이드 함량은 Woo 등(2015)의 방법을 참고하여 분석하였다. 총 폴리페놀 함량은 추출물 10 μ L에 2% Na_2CO_3 용액 200 μ L를 가한 후 3분간 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 10 μ L를 가하였다. 30분 후, 750 nm 파장에서 흡광도를 측정하였고, 표준물질인 gallic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 검량선을 작성하였으며, 시료 g중의 mg gallic acid equivalents(GAE, dry basis)로 나타내었다. 총 플라보노이드 함량분석 실험은 시료 250 μ L에 증류수 1 mL와 5% NaNO_2 75 μ L를 가한 후 5분간 방치한 후, 10% $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 150 μ L 첨가한 후 6분간 방치한다. 그 다음 1 M NaOH을 500 μ L 첨가한 후 11분간 방치하고 510 nm에서 흡광도를 측정한다. 측정된 흡광도는 catechin hydrate를 이용하여 작성된 검량선 으로부터 총 플라보노이드 함량을 계산하였다.

5. 총 안토시아닌 분석

검정콩의 총 안토시아닌 분석은 Lee 등(2009)의 방법을 참고하여 분석하였다. 추출물 제조는 시료 0.5 g을 15 mL

centrifuge tube에 담고 추출용매(0.3% HCl을 함유한 80% 메탄올) 5 mL를 넣고 15분간 초음파 추출한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상등액을 회수하였다. 위 과정을 2회 반복하여 회수한 상등액을 최종 10 mL로 정용하였다. 추출물은 0.2 µm nylon syringe filter로 여과하여 안토시아닌 분석용 시료로 사용하였다. 안토시아닌 함량 분석은 UPLC-DAD 법을 이용하였고, 분석조건은 Table 1과 같다.

6. 통계분석

각 실험 데이터는 3회 이상 반복 측정하였다. 통계처리는 SPSS(Statistics Package for the Social Science, Ver. 19.0, IBM, Chicago, IL, USA) 프로그램으로 일원배치 분산분석(One way-ANOVA)을 하여 평균, 표준편차 및 Duncan의 사후검정을 사용하여 검증하였다.

결과 및 고찰

1. 검정콩 부위별 DPPH 라디칼 소거 활성 평가

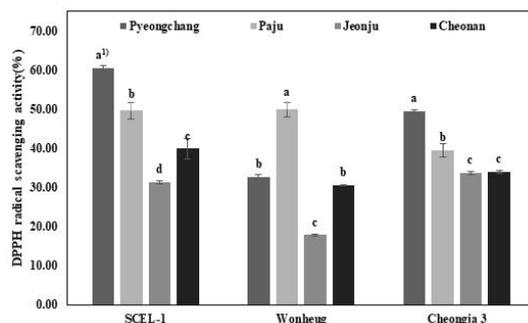
재배 지역별 유색콩의 종피와 종실속의 메탄올 추출물 1 mg/mL가 나타내는 각각의 DPPH 라디칼 소거능은 Fig. 1과 같다. 추출용매별 한약재의 항산화 활성을 측정한 Lee 등 (2015)의 선행연구에 따르면 유기용매별 생리활성물질 용출량을 측정한 결과 에틸아세테이트, 아세톤, 메탄올 등 다양한 유기용매를 활용하여 항산화활성을 측정한 결과 메탄올 추출물에서 가장 우수한 항산화활성을 나타냈다. 따라서 본 연구에서도 이를 바탕으로 메탄올을 활용하여 시료의 항산화활성을 평가했다. 우선 종피와 종실속을 살펴보면 유색콩 종피 추출물의 라디칼 소거능이 종실속 추출물보다 월등하게 높은 것으로 나타났다. 종피의 경우 25%~61% 범위의 활성이 나타났으며, 종실속의 경우 5%~18% 범위로 매우 낮은

Table 1. Total anthocyanin analysis condition in black soybean

Items	Conditions
UPLC system	Waters
Column	CORTECS [®] UPLC [®] T3, 2.1×150 mm, 1.6 µm
Mobile phase	A: 0.5% TFA in water B: 0.5% TFA in 50% ACN
Gradient condition	0 min 20%B, 3 min 20%B, 11 min 24%B, 20 min 27%B, 35 min 42%B, 40 min 45%B, 45 min 90%B, 50 min 90%B, 55 min 20%B, 60 min 20%B
Detector	DAD (515 nm)
Flow rate	0.3 mL/min
Injection volume	1 µL
Oven temperature	30°C

활성을 나타냈다. 종피의 경우 SCEL-1 평창 재배 시료의 경우 61% 이상의 라디칼 소거능을 나타냈으며, '청자 3호'도 평창 재배 시료의 경우 53% 이상의 활성을 나타냈다. 원흥 종피의 경우 평창(33%)보다 파주 지역 재배 시료가 20% 이상 높은 활성을 나타냈다(52%). 지역별로 살펴보면 평창 > 파주 > 천안 > 전주 순서로 DPPH 라디칼 소거 활성이 높은 것으로 나타났다. 반면 종실속의 경우에는 SCEL-1 및 청자3호 각각 17% 및 12% 정도로 종피 추출물보다 약 40%나 낮은 라디칼 소거 활성을 나타냈다. 검정콩의 활성물질 대부분 종피 부분에 분포하며, 재배지역별로 살펴보면 평균기온이 낮은 고위도 즉, 평창과 파주 지역 재배 검정콩이 저위도인 전주나 천안에서 재배한 검정콩보다 활성이 매우 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 또한 품종별로는 원흥과 청자3호보다, SCEL-1 품종이 가장 우수한 활성을 나타냈으며, SCEL-1 품

A



B

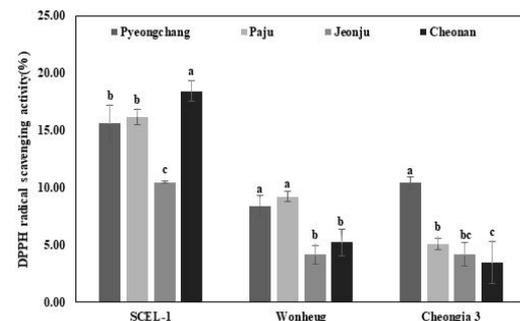


Fig. 1. Contents of DPPH radical scavenging activity in black soybean cultivars according to different latitude (A: black soybean hull, B: dehulled black soybean). ¹ Means in the same group with the different letters (a-d) are significantly ($p < 0.05$) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

종은 종피 뿐만 아니라 종실속에서도 상대적으로 우수한 활성을 나타냈다. Hong 등(2010)이 재배지 위도에 따른 검정콩의 이화학적 특성을 분석한 결과 조단백, 조지방 및 지방산 함량은 재배지역간 유의적 차이가 없으며, 유리당 함량의 경우 재배지역간 함량 변화가 큰 것으로 보고하고 있고, Yi 등(2009)의 연구에서는 재배지역에 따라서 검정콩 추출물의 전자공여능이 재배지역별로 활성이 차이가 크게 나타났다. 이는 일반적으로 콩의 등숙기간 중 지역의 평균기온보다는 일교차가 큰 지역에서 항산화활성이 높아, 기상조건과 관계가 있는 것으로 판단되며, 일차대사산물(조지방, 조단백 등)은 재배 환경적 영향보다는 품종별로 차이가 크며, 항산화 활성과 같은 2차대사산물 관련 활성은 재배지역에 따른 영향이 큰 것으로 사료된다.

2. 재배지역에 따른 검정콩 부위별 ABTS 라디칼 소거 활성 평가

다른 재배지역의 유색콩 종피와 종실속의 메탄올 추출물의 ABTS라디칼 소거능의 결과는 Fig. 2에 나타났다. 체내 대사로 인해 생성된 자유라디칼은 살아가는 동물들의 몸에서 자연스럽게 발생하는 것이나, 생성된 라디칼로 인하여 쉽게 화학적 반응을 일으켜 비가역적 손상의 원인이 되며, 최종적으로 노화 및 만성질환을 유발한다(Halliwell B 1996)고 알려져 있다. 항산화활성 연구에서 가장 보편적으로 사용되고 있는 ABTS 라디칼 제거능은 ABTS와 염의 반응으로 생성되는 양이온 라디칼이 본 연구에 사용된 추출물 내의 항산화 성분에 의해 소거되어 색이 변하는 원리를 이용하여 비색법으로 항산화 활성을 측정하였다(Re 등 1999). 재배지역이 다른 유색콩의 종피와 종실속 각각 메탄올 추출물의 ABTS 라디칼 소거능은 종실속보다는 종피에서 매우 높은 라디칼 소거능을 나타냈으며, 저위도 지역에서 재배했을 때 보다는 고위도

즉, 평창 또는 파주에서 재배한 유색콩의 항산화활성이 월등하게 높은 것으로 나타났다($p < 0.05$). 추출물의 농도 1 mg/mL 일때 종피의 라디칼 소거능은 31%~85%로 매우 높게 나타났으며, 종실속의 경우 32%~48%로 종피보다는 약 2배 낮은 라디칼 소거능을 나타냈다. 특히 종피 추출물에서는 SCEL-1 품종이 가장 높게 나타났으며(56%~85%) 그 중에서도 평창에서 재배한 시료가 가장 높게 나타났다. 종실속 추출물의 경우 대부분 낮은 활성을 나타냈으며, 지역별로 큰 차이는 나타나지 않았다. Moon 등(2003)은 콩에 함유된 항산화활성 성분은 이소플라본, 소야사포닌, 안토시아닌, 토코페롤 및 총 폴리페놀이라고 연구결과를 보고하였으며, Kim 등(2005)은 검정콩에 함유된 항산화 활성물질인 안토시아닌, 이소플라본, 폴리페놀 및 토코페롤 등을 실제 콩에 함유된 조성비로 조제하여 항산화 효과를 측정한 결과, 안토시아닌 함량과 토코페롤 혼합 시 시너지 효과가 큰 것으로 보고했다. 또한 정선산 쥐논이콩의 부위별 항산화 효과를 연구한 결과(Sa 등 2003)에서 본 연구결과와 매우 유사하게 종피에서 아주 높은 활성을 나타내는 것으로 보고하고 있다. 이상의 결과는 DPPH 라디칼 소거능과 아주 유사한 경향으로 나타났으며, 재배환경이 종실속 활성 물질 보다는 검정콩의 종피에 함유하고 있는 항산화물질에 아주 큰 영향을 주는 것으로 사료된다.

3. 재배지역에 따른 검정콩 부위별 총 폴리페놀 함량 분석

총 폴리페놀은 Folin-Denis 방법에 따라 표준물질 gallic acid를 기준으로 분석하였으며, 그 결과 Fig. 3에 나타났다. 폴리페놀 함량이 가장 높은 품종은 종피(a) 및 종실속(b) 모두 SCEL-1으로 나타났으며, 각각 1,189~1,089 mg GAE/100 g sample 및 169~205 mg GAE/100 g sample으로 다른 품종보다 1.5~2.5배 이상 높은 함량을 나타냈다. 또한 종실속의 경우 품종 간 함량 차이가 크지 않은 반면, 종피의 경우 SCEL-1과

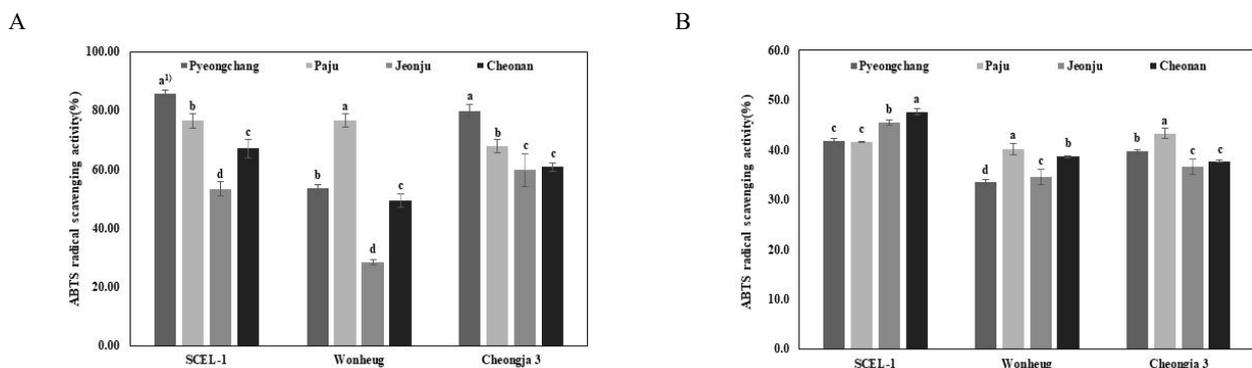


Fig. 2. Contents of ABTS radical scavenging activity in black soybean cultivars according to different latitude (A: black soybean hull, B: dehulled black soybean). ¹⁾ Means in the same group with the different letters (a-d) are significantly ($p < 0.05$) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

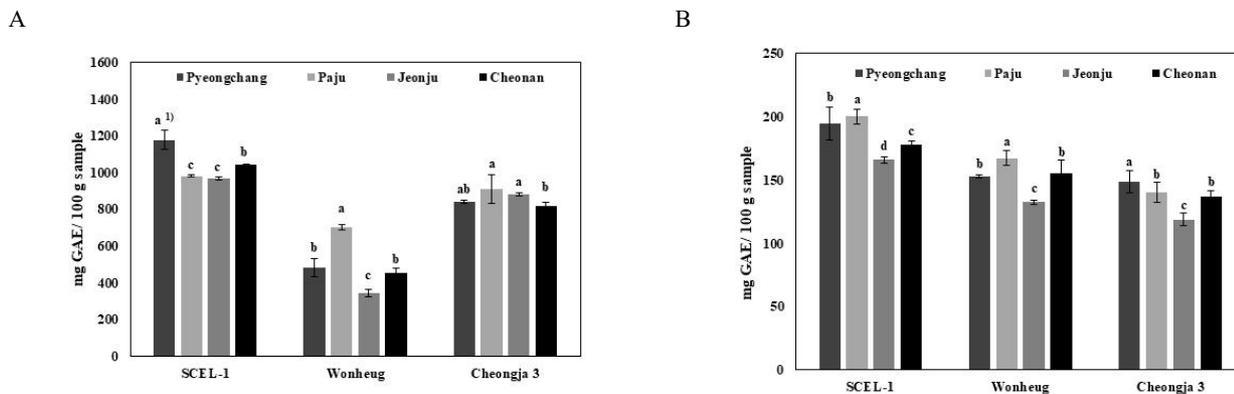


Fig. 3. Contents of total polyphenol content in black soybean cultivars according to different latitude (A: black soybean hull, B: dehulled black soybean). ¹⁾ Means in the same group with the different letters (a-d) are significantly ($p < 0.05$) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

원흑의 차이가 약 600 mg GAE/100 g sample 이상 많은 차이를 나타냈다. 품종별로 종피의 경우 SCEL-1 > 청자3호 > 원흑 순으로 총 폴리페놀을 다량 함유하고 있으며, 재배지역별로 살펴보면 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거 활성 결과와 유사한 패턴으로 위도가 높은 평창과 파주 지역에서 재배된 검정콩이 위도가 낮은 천안 및 전주 지역에서 재배된 검정콩보다 폴리페놀 함량이 월등하게 높은 것으로 나타났다. 이 결과로 미루어 보아 검정콩이 함유하고 있는 폴리페놀 화합물은 대부분 종피에 함유되어 있으며, 품종 및 재배환경에 따라 서로 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. Hong 등(2014)은 쥐눈이콩을 이용하여 열수와 70% 에탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량을 각각 23.01 및 26.22 mg/g으로 보고하였고, 정선산 쥐눈이콩의 추출 용매별로 메탄올, 에탄올, 증류수, 75% 에탄올, 70% 메탄올 추출물의 총 폴리페놀 함량을 각각 0.39, 0.23, 0.23, 0.71 및 0.62 g/100 g으로 보고하였다(Sa 등 2003). Lee 등(2014)은 검은콩 및 노란콩의 부위별 항산화활성을 연구하였는데, 폴리페놀 함량의 경우 서리태 종피에서 가장 높은 함량으로 나타났으며, 종실속(자엽)과 백태(노란콩)에서 전반적으로 매우 낮은 함량을 나타냈다고 보고하였으며, Xu & Chang(2008)은 미국산 검은 콩에 대한 총 페놀 화합물에 대한 연구에서 검은콩 전체 추출물은 약 9 mg/g, 종실속은 약 2 mg/g 그리고 종피는 약 66 mg/g의 페놀 화합물이 함유되어 있음을 보고한 바 있다. 본 연구에서도 검은콩의 부위별로 분석했을 때 종피 부분의 폴리페놀 함량이 매우 높게 분석된 것과 비슷한 경향을 보였다. 또한 작물의 일반적인 성분 함량은 품종 및 재배지역에 따라 큰 영향을 받으며, 같은 품종이라도 재배지역 및 생산연도에 따라 서로 함량 변화가 크다고 했는데(Wang & Murphy 1994), 이는 토양적 변이도 크겠으나, 환경적인 영향이 큰 것으로 생각되며, 본 연구결과에서도

재배지역에 따라 폴리페놀 함량 차이가 유의적으로 나타나므로($p < 0.05$), 검정콩 재배 시 환경적 변이를 고려하여 생산할 필요가 있다고 사료된다.

4. 재배지역에 따른 검정콩 부위별 총 플라보노이드 함량 분석

플라보노이드는 폴리페놀의 일종으로, 세계적으로 약 4,500여 종 이상 알려져 있다. 담황색 또는 노란색을 띠는 색소화합물인 플라보노이드는 콩과 같은 식량작물 중에는 대부분 당과 결합된 배당체 형태로 존재하며, 그의 기능성은 항산화작용, 항염증, 항알레르기, 항바이러스 등 매우 다양한 효과들이 알려져 있다. 검정콩의 재배지역에 따른 종피, 종실속의 메탄올 추출물의 총 플라보노이드 함량 분석 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4A는 재배지역별 검은콩의 종피 추출물, Fig. 4B는 재배지역별 검은콩 종실속 추출물에 대한 총 플라보노이드 함량 분석결과를 나타냈다. 우선 검정콩 재배지역별 종피 추출물의 총 플라보노이드 함량을 살펴보면 SCEL-1 품종 중 평창에서 재배된 것이 951 mg CTE/100 g sample로 가장 높은 함량을 나타냈으며, 그 다음으로 천안 > 전주 > 파주 순으로 나타났다. 또한 폴리페놀과 유사하게 원흑 품종의 함량이 가장 낮게 나타났으며, 라디칼 소거활성과 폴리페놀 함량 경향과는 조금 다르게, 위도가 낮은 천안 지역 재배 시료가 파주 지역 재배 시료 보다 플라보노이드 함량이 높게 나타났다. 종실속 추출물의 경우 재배지역에 따른 차이는 크게 나타나지 않았으나($p < 0.05$), 품종별로 차이가 나타났으며, 종실속 추출물의 경우에도 종피와 마찬가지로 원흑과 청자3호보다 SCEL-1 품종의 함량이 가장 높게 나타났다. 본 결과를 살펴봤을 때 검은콩과 같은 유색콩의 플라보노이드 함량은 폴리페놀 및 라디칼 소거 활성처럼 재배지역에 따른 차이로

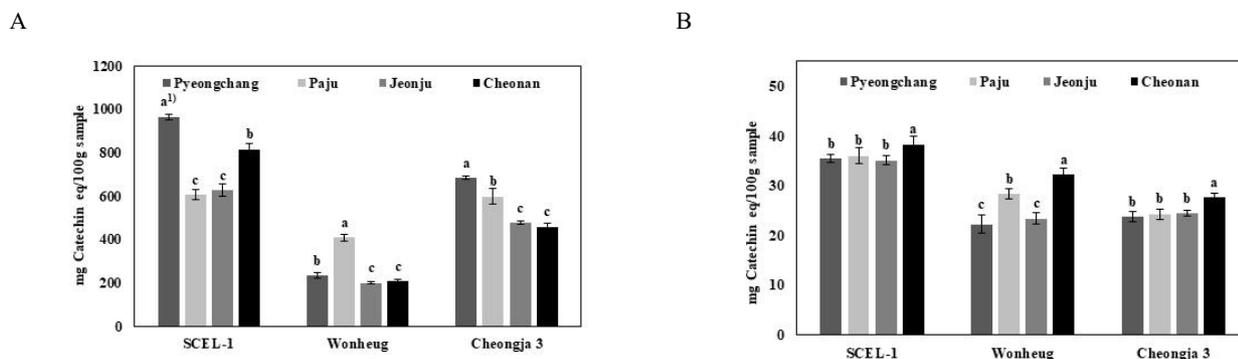


Fig. 4. Contents of total flavonoid content in black soybean cultivars according to different latitude. (A: black soybean hull, B: dehulled black soybean). ¹⁾ Means in the same group with the different letters (a-c) are significantly ($p < 0.05$) different by one-way analysis of variance (ANOVA) using Duncan's multiple range test.

다 품종간의 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 위도가 다른 재배지역에서 재배한 검정콩의 생리활성 물질을 분석한 결과 (Hong 등 2010) 재배지역의 위도가 높아짐에 따라 생리활성 물질이 증가하는 경향을 나타냈으며, Kim 등(2018)의 연구에서는 중부지역재배 소립 검정콩 품종별 플라보노이드 함량을 분석한 결과 5.81~7.25, 5.81~7.34 및 5.52~7.64 mg CE/g으로 품종에 따라 유의적인 차이를 보고하였다. 여러 결과들을 살펴봤을 때, 재배지역과 품종간 상호작용을 통하여 품종 및 검정콩의 부위에 따라 재배환경이 영향을 다양하게 미치는 것으로 판단된다.

5. 재배지역에 따른 검정콩 총 안토시아닌 함량 분석

안토시아닌은 친수성 플라보노이드계열의 색소로서 콩과

같은 식물에 분포하는 종류는 20여가지 종류에 있는 것으로 알려져 있으며(Harbone & William 2000), 최근까지 이들의 기능성이 밝혀짐에 따라 많은 관심을 받고 있다(Kanatt 등 2005; Prior 등 2005; Plochmann 등 2007). 많은 종류의 안토시아닌 중 검정콩에 함유되어 있는 주요 안토시아닌 종류는 C3G (cyanidin-3-glucoside), D3G(delphinidin-3-glucoside) 및 Pt3G (petunidin-3-glucoside)로 알려져 있다(Choung 등 2001; Lee 등 2009). 재배지역에 따른 검정콩 품종간의 총 안토시아닌 함량 분석 결과 품종 및 재배 지역에 따라 함량이 매우 크게 차이나는 것으로 나타났다($p < 0.05$)(Table 2). 품종 별로 살펴보자면, 3가지 품종 중에서 SCEL-1의 총 안토시아닌 함량이 가장 높은 것으로 나타났으며, 청자3호의 안토시아닌 함량이 가장 낮게 나타났다. 또한, 안토시아닌 종류별로 살

Table 2. Contents of total anthocyanin in black soybean cultivars according to different latitude ($\mu\text{g/g}$, dry weight)

Cultivar	Location	Delphinidin-3-glucoside	Cyanidin-3-glucoside	Petunidin-3-glucoside	Total anthocyanin
SCEL-1	Jeonju	ND	2,156.27	ND	2,156.27
	Pyeongchang	ND	2,247.21	ND	2,247.21
	Paju	ND	3,606.29	ND	3,606.29
	Cheonan	ND	2,126.24	ND	2,126.24
Wonheug	Jeonju	130.60	944.92	41.15	1,116.67
	Pyeongchang	69.58	1,437.05	37.63	1,544.26
	Paju	110.45	1,159.01	40.30	1,309.76
	Cheonan	98.23	836.29	34.41	968.93
Cheongja 3	Jeonju	44.98	846.80	18.43	910.21
	Pyeongchang	34.12	1,161.01	14.78	1,209.91
	Paju	33.01	664.34	9.76	707.11
	Cheonan	54.61	710.51	20.98	786.10

ND: not detected.

해보면 3가지 종류 중 C3G 함량이 가장 높게 나타났고, D3G, Pt3G 순으로 높게 나타났다. 그 중 파주 지역에서 재배한 SCEL-1 검정콩의 총 안토시아닌 함량이 3,606.29 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높게 나타났으며, 천안에서 재배한 청자3호 품종은 786.10 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 낮은 함량을 나타냈다. 그리고, 원흑과 청자3호의 경우 평창 지역에서 재배하였을 경우 가장 높은 함량(각각 1,544.26 $\mu\text{g/g}$ 및 1,209.914 $\mu\text{g/g}$)을 나타냈지만, SCEL-1은 파주 지역에서 재배한 콩의 안토시아닌 함량이 가장 높은 함량을 나타냈다. 또한, 원흑 및 청자3호의 안토시아닌 종류는 일반적으로 검정콩 안토시아닌의 종류로 많이 알려진 D3G, C3G 및 Pt3G로 3가지 모두 함유하고 있지만, SCEL-1의 경우 C3G 외에 다른 안토시아닌 종류는 검출되지 않았다. 이는 SCEL-1 품종이 개발 및 육종되었을 때 여러 변수들에 의하여 안토시아닌 종류 및 함량이 다른 검정콩 대비 상이한 것으로 사료된다. Kim 등(2005)의 연구결과에서 검정콩 종피의 안토시아닌 함량 측정된 결과 D3G가 1.42 mg/g, C3G가 5.77 mg/g 및 Pt3G가 0.3 mg/g으로 본 연구 데이터와 함량 차이는 있으나 분포의 경향은 비슷하게 나타났으며, Kim 등(2008)의 연구에서도 품종별 검정콩의 종피 안토시아닌 함량이 C3G가 약 13.1 mg/g으로 가장 높은 함량을 나타냈다. 또한 검정콩 수집지역과 성숙기에 따른 안토시아닌 함량 변이를 연구한 Yi 등(2008)의 연구에서도 수집지역별 검정콩의 유전자원 약 300여 종의 안토시아닌을 분석한 결과 지역별로 안토시아닌 함량이 차이가 크게 나타났으며, 위도가 높은 지역이 높게 나타나는 등 본 연구와 유사하게 나타났다. 본 연구에서도 D3G 및 Pt3G가 검출되지 않은 품종이 있었는데, 약 300여종 수집된 유전자원 분석한 결과에서도 D3G 및 Pt3G가 없는 20종 이상의 검정콩 유전자원이 분석되었다. 이상의 결과를 살펴보면 검정콩은 위도가 높은 지역(평창, 파주 등)에서 재배한 것이 안토시아닌 등 항산화 물질 및 활성이 우수한 것으로 사료된다.

요약 및 결론

본 연구는 재배지역에 따른 검정콩의 종피와 배유 부위별 항산화활성 함량 변화를 살펴보고자 하였다. 재배지역은 위도에 따라 평창, 파주, 천안, 전주 지역에서 재배한 검은콩이며, 검은콩의 종류는 유전자원에서 발굴한 SCEL-1을 포함하여 원흑 및 청자 3호, 총 3품종으로 분석하였다. 그 결과 DPPH 라디칼 소거 활성의 경우 배유 보다 종피에서 매우 높은 활성을 나타냈으며, 평창 및 파주처럼 고위도에서 재배한 검정콩의 라디칼 소거능이 높게 나타났다. ABTS 라디칼 소거 활성은 종피의 경우 SCEL-1 품종이 80% 이상으로 가장 높은 활성을 나타냈으며, 전주 지역에서 재배한 원흑 품종이

23%로 가장 낮은 ABTS 라디칼 소거활성을 나타냈다. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성은 평창 > 파주 > 천안 > 전주 순서로 활성이 나타났으며, 품종별로는 SCEL-1 > 청자3호 > 원흑 순서로 활성이 나타났다. 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 모두 배유 보다는 종피에서 높은 함량을 나타냈고, 그 중 SCEL-1 품종이 가장 높은 함량으로 나타났으며 각각 1,189~1,089 mg GAE/100 g sample 및 951 mg CTE/100 g sample로 나타났다. 총 안토시아닌 함량도 재배지역 및 품종별로 매우 상이하게 나타났으며, SCEL-1 품종이 2,126.24~ 3,606.29 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높은 함량을 나타냈으며 특히하게도 안토시아닌 중 C3G만 함유하고 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 살펴보면, 새롭게 개발된 SCEL-1 품종이 기존 검정콩 보다 매우 우수한 항산화물질을 함유하고 있는 것으로 나타났으며, 검정콩의 재배 시 항산화활성 물질 및 안토시아닌 고함유 검정콩 생산을 위해서는 위도가 높은 지역, 즉 평균기온이 낮고, 일교차가 큰 지역에서 생산하는 것이 유리할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 AGENDA 연구사업 (ATIS 과제번호: PJ01430501, ATIS 과제번호: PJ01430502)의 지원에 의해 이루어진 것임.

References

- Choung MG, Baek IY, Kang ST, Han WY, Shin DC, Moon HP, Kang KH. 2001. Isolation and determination of anthocyanins in seed coats of black soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *J Agric Food Chem* 49:5848-5851
- Choung MG, Hwang YS, Lee HJ, Choi SSN, Lim JD, Kang ST, Han WY, Baek IY, Kim HK. 2008. Optimal extraction condition of anthocyanins in soybean (*Glycine max*) with black seed coats. *Korean J Crop Sci* 53:110-117
- Fiat AM, Migliore-Samour D, Jollès P, Drouet L, Bal dit Sollier C, Caen J. 1993. Biologically active peptides from milk proteins with emphasis on two examples concerning antithrombotic and immunomodulating activities. *J Dairy Sci* 76: 301-310
- Halliwell B. 1996. Antioxidants in human health and disease. *Annu Rev Nutr* 16:33-50
- Harborne JB, Williams CA. 2000. Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry* 55:481-504
- 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* 21:404-411
- Hong SB, Lee SJ, Kim YH, Hwang YS, Yoon KH, Lee SI, Nam MY, Song LS, Baek IY, Kim HK, Choung MG. 2010. Variation of protein, oil, fatty acid, and sugar contents in black soybean cultivars according to different latitudes. *Korean J Environ Agric* 29:120-128
- Joo YH, Park JH, Kim YH, Choung MG, Chung KW. 2004. Change in anthocyanin contents by cultivation and harvest time in black-seeded soybean. *Korean J Crop Sci* 49:512-515
- Kanatt SR, Chander R, Radhakrishna P, Sharma A. 2005. Potato peel extract—a natural antioxidant for retarding lipid peroxidation in radiation processed lamb meat. *J Agric Food Chem* 53:1499-1504
- Kim HJ, Jung GH, Lee JH, Lee BW, Lee YY, Kim SK, Lee BK, Woo KS. 2018. Quality and physicochemical characteristics of small black soybean cultivar cultivated in the north-central region. *Korean J Food Nutr* 31:792-801
- Kim SH, Kwon TW, Lee YS, Choung MG, Moon GS. 2005. A major antioxidative components and comparison of antioxidative activities in black soybean. *Korean J Food Sci Technol* 37:73-77
- Kim YH, Kim DS, Woo SS, Kim HH, Lee YS, Kim HS, Ko KO, Lee SK. 2008. Antioxidant activity and cytotoxicity on human cancer cells of anthocyanin extracted from black soybean. *Korean J Crop Sci* 53:407-412
- Kim YH, Yun HT, Park KY. 2004. Biological effects of black colored soybean. *Plant Resour* 7:195-199
- Lee HJ, Choi EY, Sim YJ, Kim OS, Yoo HJ, Do WN, Kim YH. 2009. Anthocyanin-contents and pigment stability of black soybean by different extract condition and stabilizer. *Korean J Food Nutr* 22:150-157
- Lee LS, Choi EJ, Kim CH, Kim YB, Kum JS, Park JD. 2014. Quality characteristics and antioxidant properties of black and yellow soybeans. *Korean J Food Sci Technol* 46:757-761
- Lee SG, Oh SC, Jang JS. 2015. Antioxidant activities of *Citrus unshiu* extracts obtained from different solvents. *Korean J Food Nutr* 28:458-464
- Lee YR. 2021. Biological activities of extracts from leaf of *Angelica gigas* Nakai. *Korean J Food Nutr* 34:181-186
- Messina M, Gardner C, Barnes S. 2002. Gaining insight into the health effects of soy but a long way still to go: Commentary on the Fourth International Symposium on the Role of Soy in Preventing and Treating Chronic Disease. *J Nutr* 132:547S-551S
- Moon GS, Kwon TW, Lyu SH. 2003. Comparison of antioxidative activities of soybean components by different assays. *Korean Soybean Dig* 20:28-36
- Oh MK, Rhee SH, and Cheigh HS. 1992. Changes of lipid composition of Korean black soybean before and after soaking. *J Kor Soc Food Nutr*. 21:29-35
- Plochmann K, Korte G, Koutsilieris E, Richling E, Riederer P, Rethwilm A, Schreier P, Scheller C. 2007. Structure-activity relationships of flavonoid-induced cytotoxicity on human leukemia cells. *Arch Biochem Biophys* 460:1-9
- Prior RL, Wu X, Schaich K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J Agric Food Chem* 53:4290-4302
- 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 Radical Biol Med* 26:1231-1237
- Sa JH, Shin IC, Jeong KJ, Shim TH, Oh HS, Kim YJ, Cheung EH, Kim GG, Choi DS. 2003. 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
- Shin SO, Shin SH, Ha TJ, Lim SG, Choi KJ, Baek IY, Lee SC, Park KY. 2009. Soybean ecological response and seed quality according to altitude and seeding dates. *Korean J Crop Sci* 54:143-158
- Son JH, Choung MG, Choi HJ, Jang UB, Bae JH, Lee HB, and Choi C. 2002. Stability of black soybean pigment extract. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 45:179-184
- Wang H, Murphy PA. 1994. Isoflavone composition of American and Japanese soybeans in Iowa: Effects of variety, crop year, and location. *J Agric Food Chem* 42:1674-1677
- Woo KS, Song SB, Ko JY, Lee JS, Jung TW, Jeong HS. 2015. Changes in antioxidant contents and activities of adzuki beans according to germination time. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44:687-694
- Xu B, Chang SKC. 2008. 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 Agric Food Chem* 56:8365-8373

Yi ES, Lee YS, Kim HD, Kim YH. 2008. Variation of anthocyanin contents according to collection site and maturity in black soybean. *Korean J Crop Sci* 53:376-381

Yi ES, Yi YS, Yoon ST, Lee HG. 2009. Variation in antioxidant components of black soybean as affected by variety and

cultivation region. *Korean J Crop Sci* 54:80-87

Received 14 June, 2021

Revised 24 June, 2021

Accepted 19 July, 2021