

고압처리에 의한 발아팥의 기능성 향상 효과

김민영 · 장귀영* · 이윤정 · 김경미** · 강태수*** · 이준수 · 정현상

충북대학교 식품생명공학과, *농촌진흥청 국립원예특작과학원,
농촌진흥청 국립농업과학원, *충북도립대학교 바이오식품과학과

Effect of Enhancement on Functionality of Germinated Adzuki Bean (*Angularis angularis* var. *nipponensis*) with High Hydrostatic Pressure (HHP) Treatment

Min Young Kim · Gwi Yeong Jang* · Yoonjeong Lee · Kyung Mi Kim** ·

Tae Su Kang*** · Junsoo Lee and · Heon Sang Jeong

Dept. of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

*National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Eumseong 27709, Korea

**National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

***Dept. of Food Science and Biotechnology, Chungbuk Provincial University of Science and Technology, Okcheon 29046, Korea

Abstract

We investigated the influence of germination and high hydrostatic pressure (HHP) treatment conditions on the conversion of functional compounds and antioxidant activity in adzuki bean. The adzuki bean germinated at 25°C for three- or six-days, and was later subjected to HHP at 0.1, 50, 100, or 150 MPa for 24 h. The highest polyphenol content (5.36 mg gallic acid equivalents (GAE)/g) and flavonoid content (0.91 mg catechin equivalents (CE)/g) were observed after germination for six days and HHP treatment at 100 MPa for 24 h, respectively. The total phenolic acid contents increased with increasing applied pressure from 88.86 to 208.26 µg/g (100MPa, 24h). Phenolic acids are divided into two categories; those that exhibit increased content upon HHP treatment, and those that exhibit decreased content. The increasing phenolic acids were gallic acid, chlorogenic acid, (+)-catechin, p-coumaric acid, ferulic acid, heperidin, salicylic acid, protocatechuic acid, cinnamic acid, naringenin. The total anthocyanin content decreased with increasing applied pressure from 22.42 mg/100 g to 6.28 mg/100 g (150 MPa, 24 h). The highest ABTS radical scavenging activity (8.02 mg eq AA/g) and DPPH radical scavenging activity (1.22 eq Trolox/g) were observed after germination for six days and HHP treatment at 100MPa for 24h, respectively. These results suggested that the combination of HHP and germination can lead to improved functionality in adzuki bean.

Key words: adzuki bean, germination, functional compound, antioxidant activity, high hydrostatic pressure treatment

서론

팥(adzuki bean, *Vigna angularis* var. *nipponensis*)은 우리나라에서 콩 다음으로 중요한 두류작물로 콩에 비해 수량은 낮으나, 기후 및 토양에 적응성이 양호하여 작부체계에 유용하게 이용될 수 있다(Rho 등 2003). 팥은 비타민 B₁이 풍부하여 쌀에 혼반할 경우, 쌀밥에 부족하기 쉬운 비타민을 공급해 주

며, 각기병뿐만 아니라, 피로회복에도 효과가 있다(Chang 등 1968). 팥에 함유된 사포닌은 섬유질과 함께 변통을 돕는 효과가 있고, 독을 풀고 배변을 촉진하여 장을 깨끗이 해주며, 신장병, 각기병, 숙취 등에도 이용된다(Choi 등 2002). 팥의 색소는 anthocyanin계의 cyanidin으로 알려져 있으며(Yoshida 등 1996), 이들 색소는 항산화(Arigo 등 1988) 및 항종양 효과(Koide 등 1997)를 나타내는 것으로 보고되었다.

† Corresponding author: Heon Sang Jeong, Dept. of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea. Tel: +82-43-261-2570, Fax: +82-43-271-4412, E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr

팥을 비롯한 종자는 씨눈과 배젓에 있는 각종 효소 및 영양소 등이 외적 환경 여건이 좋아지면 활성화되어 발아되는 데, 일반적으로 발아가 진행됨에 따라 다양한 성분들이 증가하고, 그에 따라 생리활성이 증가하는 경향이 있는 것으로 알려져 있다(Lee 등 2007). 따라서 조조, 기장(Ko 등 2011), 메밀(Lee 등 2008), 들깨(Ching & Kim 1998), 대두(Kim 등 2004) 등으로 다양한 종자에 대한 발아에 따른 유용성분 및 생리활성의 변화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

고압처리기술은 영양성, 편리성 및 고품질 측면에서 소비자를 충족시킬 수 있는 제품을 개발할 목적으로 사용되고 있으며, 관련 상품이 시장에서 판매되고 있다(Kim CT 2009). 고압처리기술은 구조적으로 유연한 식물체 내의 세포 변형, 세포막 손상, 단백질 변성과 같은 변화를 발생시키기 때문에 화학성분 및 유용성분의 용출성 및 용해성을 향상시킬 수 있으며(San Martin 등 2002), 100 MPa 이하의 압력에서는 기질의 변성, 효소구조의 안정화 및 효소와 기질의 결합력 향상 등에 따라 효소반응속도가 달라지므로 고압처리에 의한 가수분해효율을 증가시키려는 연구가 다양하게 진행되고 있다(Northrop 등 2002).

이와 같이 발아를 통해 다양한 종자의 유용성분 및 생리활성을 증대시키는 연구와 식품 및 제약분야에서 유용성분의 추출효율 및 가수분해효소의 활성을 증가시키기 위하여 고압처리공정이 이용되고 있지만, 팥의 유용성분 및 생리활성을 증대시키기 위한 발아 및 고압의 병행처리기술의 적용에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 팥을 발아시킨 후 0.1~150 MPa의 압력하에서 24시간 동안 고압처리를 실시하고, 발아 일수와 처리압력에 따른 기능성분 및 항산화 활성의 변화를 살펴봄으로써 팥의 기능성 증대에 미치는 발아와 고압의 병행처리 효과에 대해 연구하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 발아

본 실험에 사용된 검정팥은 검구슬(Geomguseul)로 2015년도에 생산된 팥을 농촌진흥청에서 분양받아 사용하였다. 발아는 Lopez 등(2013)의 방법에 따라 팥을 20°C의 증류수로 수세하고, 5배의 증류수를 가수하여 24시간 동안 침지시킨 다음 발아기(WGC 450, Dahan Inc, Seoul, Korea)로 발아시켰다. 발아온도는 25°C, 습도는 90%를 유지시키면서 발아시켰으며, 1일 3회씩 10분 물주기를 하면서 발아시켰다. 발아기간은 0일, 3일 및 6일로 하였고, 발아시키지 않은 팥을 대조구로 하였다. 팥 및 발아 팥은 동결건조기(Freeze dryer, FD5508, Ilshin Lab Co., Ltd., Dongducheon, Korea)에서 건조시킨 다음 냉동

보관하면서 시료로 사용하였다.

2. 고압처리

가압은 정수압 압력처리 시스템(WIP-L60-50-200, Ilshin Autoclave Co., Daejeon, Korea)을 이용하였으며, 압력용기 내부의 온도는 발아조건과 동일한 37°C에서 유지되도록 하였다. 0, 2 및 4일간 발아시킨 팥을 수분과 산소투과성이 적은 알루미늄 호일필름(Newpack, Seoul, Korea)에 10 g 단위로 진공포장한 후 0.1, 50, 100 및 150 MPa의 압력 하에서 24시간 동안 처리하였으며, 압력처리는 효소가 불활성화되지 않도록 발아 팥 시료 제작 직후에 실시하였다. 발아팥 및 고압처리를 실시한 팥은 동결건조하고, 냉동보관하여 시료로 사용하였다.

3. 총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Dewanto 등(2002)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 추출물의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과, 몰리브덴 정색으로 발색하는 것을 원리로 측정하였다. 즉, 각 추출물 100 µL에 2% Na₂CO₃ 용액 2 mL를 가한 후 3분 방치하여 50% Folin-Ciocalteu reagent 100 µL를 가하였다. 실온에서 30분 방치 후 반응액의 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였다. 표준물질로 gallic acid(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 5, 10, 25 및 50배로 희석하여 사용하였으며, 검량선 작성 후 총 폴리페놀 함량은 시료 1 g중 mg gallic acid로 나타내었다.

4. 총 플라보노이드 함량 측정

총 플라보노이드 함량은 Zhishen 등(1999)의 방법을 변형하여 분석하였다. 폴리페놀 분석을 위한 추출물 250 µL에 증류수 1 mL와 5% NaNO₂ 75 µL를 가한 다음 5분 후 10% AlCl₃ · 6H₂O 150 µL를 가하여 6분간 방치하고, 1 M 수산화나트륨(NaOH) 500 µL를 가하여 11분간 방치한 후, 반응액의 흡광도를 510 nm에서 측정하였다. 표준물질로 (+)-catechin hydrate(Sigma-Aldrich)를 사용하여 보정선을 작성하였다.

5. 페놀산 분석

페놀산 함량은 Seo 등(2011)과 Jung 등(2012)의 방법을 변형하여 분석하였다. 분리 용출하여 얻어진 유리형 및 결합형 페놀화합물은 HPLC용 메탄올에 용해한 다음 0.45 µm Syringe filter(Millipore, Billerica, MA, USA)로 여과하여 HPLC(ACME 9000 system, Younglin, Anyang, Korea)로 분석하였다. 이동상은 0.1% acetic acid가 포함된 증류수(A)와 0.1% acetic acid가 포함된 아세트니트릴(B)을 gradient 조건으로 흘려주었고, gradient 조건은 A : B를 초기 92 : 8(% v/v)에서 2분에 90 : 10,

27분에 70:30, 50분에 10:90, 51분에 0:100, 60분에 0:100, 70분에 92:8로 설정하였으며, 유속은 1 mL/min으로 하였고, 주입량은 20 μ L로 설정하였다. 검출기는 UV 280 nm에서 검출하였으며, 칼럼은 ODS column(5 μ m, 4.6 \times 250 mm, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)을 사용하였다. 표준물질로는 gallic acid, homogentisic acid, gentisic acid, chlorogenic acid, (+)-catechin, caffeic acid, phloretic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, veratric acid., naringin, hesperidin, salicylic acid, protocatechuic acid, cinamic acid, quercetin, naringenin, hesperitin, biochanin 등을 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다.

6. 안토시아닌 및 안토시아니딘 분석

안토시아닌 및 안토시아니딘 함량은 Choung(2008)의 방법에 따라 HPLC(ACME9000 system, Younglin, Anyang, Korea)로 분석하였다. 일정량의 시료에 0.3% HCl을 포함한 80% 메탄올을 가한 후 25 $^{\circ}$ C에서 1시간 동안 3회 초음파 추출하였으며, 추출물은 2,200 \times g에서 10분 동안 원심분리하여 100 mL로 정용한 다음 0.45 μ m syringe filter(Millipore)로 여과하여 HPLC 분석 시료로 사용하였다. 이동상은 5% formic acid가 포함된 아세트니트릴(A)과 5% formic acid가 포함된 증류수(B)를 gradient 조건으로 흘려주었고, gradient 조건은 A:B를 초기 10:90(% v/v)에서 24분에 40:60, 25분에 100:0, 28분에 100:0, 29분에 10:90, 40분에 10:90으로 설정하였으며, 유속은 1 mL/min으로 하였고, 주입량은 20 μ L로 설정하였다. 검출기는 UV 520 nm에서, 칼럼은 C-18 column(Mightysil RP-18 GP column, 4.6 \times 250 mm, Kanto Chemical, Tokyo, Japan)을 사용하였고, 칼럼 온도는 30 $^{\circ}$ C로 설정하였다. 표준물질로는 Cyanidin-3-Glucose, Delphinidin-3-Glucose, Petunidin-3-Glucose, Cyanidin 및 Delphinidin을 사용하였다.

7. ABTS 라디칼 소거능 측정

ABTS 라디칼 소거능은 ABTS(cation decolorization assay) 방법에 의하여 측정하였다. 7.4 mM 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS, Sigma-Aldrich Co.)와 2.6 mM potassium persulphate를 하룻 동안 암소에서 방치하여 ABTS 양이온을 형성시킨 후 이용액을 735 nm에서 흡광도 값이 1.4가 되도록 물 흡광계수($\epsilon=3.6\times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 희석된 ABTS 용액 1 mL에 추출액 50 μ L를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 60분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid(AA, Sigma-Aldrich Co.)를 사용하였다. 시료첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 mg ascorbic acid eq/g으로 표현하였다.

8. DPPH 라디칼 소거능 측정

DPPH 라디칼 소거능은 Hwang 등(2006)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 에탄올 추출물 0.2 mL에 0.2 mM DPPH (Sigma-Aldrich Co.) 용액 0.8 mL를 가하여 실온에서 60분간 방치한 후 520 nm에서 흡광도를 측정하였다. 전자공여능은 시료첨가구와 비첨가구의 흡광도 차이를 mg Trolox eq/g으로 표현하였다.

9. 통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고, 처리조건 간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variance)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량

발아기간 및 처리압력에 따른 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 변화를 분석한 결과는 Fig. 1 및 2와 같이 유의적인 차이를 나타내었다. 고압처리를 하지 않은 대조구는 발아 전 총 폴리페놀 및 플라보노이드함량이 각각 0.94 mg/g 및 0.49 mg/g이었지만, 발아 6일차에서는 각각 1.61 및 0.54 mg/g으로 증가하여 발아 6일차에서 가장 높게 나타났다. 이는 유리형 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 발아기간이 증가함에 따라 발아 6일 차까지 지속적으로 증가하였다는 Kim 등

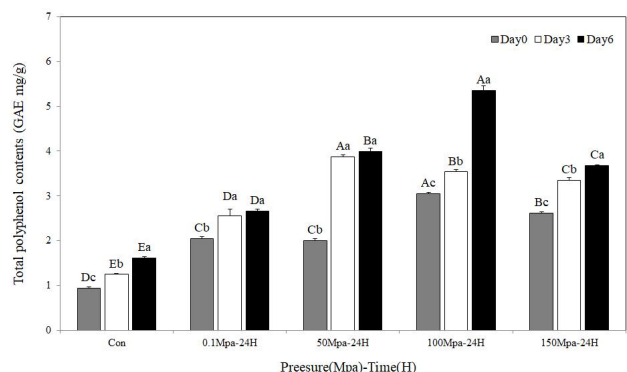


Fig. 1. Change in total polyphenol contents of germinated adzuki bean before and after germination with different pressure (0.1~150 MPa). Values are mean \pm S.D. of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different pressure(0.1~150 MPa). Different small letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different germination periods of adzuki bean.

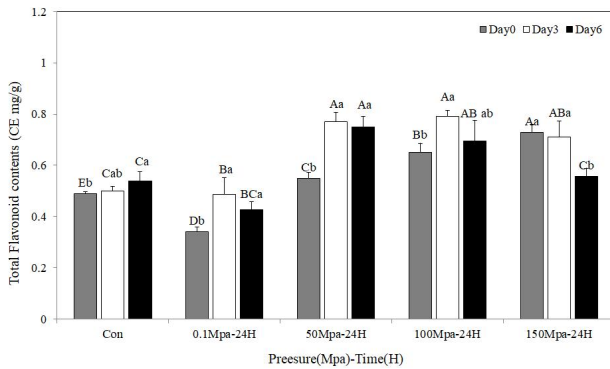


Fig. 2. Change in total flavonoid contents of germinated adzuki bean before and after germination with different pressure (0.1~150 MPa). Values are mean±S.D. of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different pressure (0.1~150 MPa). Different small letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different germination periods of adzuki bean.

(2017)의 연구와 팥의 발아가 진행됨에 따라 총 폴리페놀 함량이 발아 144시간까지 증가한다는 Woo 등(2015)의 연구와 유사하였다. 또한, 6일차 발아 팥의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량에 미치는 고압처리의 효과는 처리압력에 따라 다양하게 나타났다. 즉, 처리압력이 증가함에 따라 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 각각 1.61~5.36 mg/g 및 0.53~0.74 mg/g의 범위로 100 MPa까지 증가하다가 150 Mpa 처리시 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 결과는 발아비의 항산화 성분 및 활성에 미치는 고압처리의 효과에 대한 Kim 등(2013)의 연구 결과와 유사하였으며, 일반적으로 종자를 발아시키면 가수분해효소의 활성화에 따라 6'-*O*-feruloyl sucrose, 6'-*O*-sinapoyl sucrose, ferulic acid 및 sinapinic acid와 같은 페놀성 화합물의 함량이 증가하는 것으로 알려져 있다(Tian 등 2005). 따라서 본 연구결과, 발아와 가압처리를 병행하였을 때 세포벽 가수분해효소의 활성이 증가하고, 그에 따라 추출시 6'-*O*-feruloyl sucrose, 6'-*O*-sinapoyl sucrose, ferulic acid 및 sinapinic acid와 같은 페놀성 화합물의 용출이 용이해진 것으로 판단된다.

2. 페놀산 함량

발아 및 고압처리에 따른 검정팥의 페놀산에 대해 정량 분석한 결과는 Table 1과 같으며, 19종의 표준물질 중 homogentisic acid, quercetin, hesperitin 및 biochanin을 제외한 15종의 페놀산이 검출되었다. 총 페놀산의 경우, 고압처리를 하지 않은 대조구는 발아 전 14.56 $\mu\text{g/g}$ 이었지만, 발아 6일차에서는 88.86 $\mu\text{g/g}$ 으로 유의적으로 증가하였으며, 고압처리시 100

MPa 처리구에서 가장 높은 함량인 191.24 $\mu\text{g/g}$ 을 나타내었다. 이러한 결과는 검정 팥의 총 유리형 페놀산 함량이 발아 기간이 증가함에 따라 증가하여 발아 6일 이후 약 5.7배 증가하였다는 Kim 등(2017)의 연구와 일품씨의 발아와 고압 병행 처리 시 총 페놀산 함량이 100 MPa의 압력까지 증가하였다는 Kim 등(2015)의 연구와 유사한 경향을 보였다. 발아기간 및 처리압력에 따른 구성 페놀산 조성 변화는 Table 1과 같이 gallic acid, chlorogenic acid, catechin, *p*-coumaric acid, ferulic acid, salicylic acid, naringenin은 총 페놀산 함량 경향과 유사하게 100 MPa의 압력처리에 의해 증가하였으며, 4일차 발아팥의 페놀산 함량이 대조구의 경우, 각각 ND, 8.71, 3.05, 0.11, 1.58, 29.81, 1.29로 검출되지 않거나 미량이었지만, 100 MPa의 압력처리 이후 6.99, 66.81, 16.37, 37.06, 107.12 및 44.50으로 크게 증가하였다. 페놀산은 식물체에 널리 분포된 물질로 다양한 구조와 분자량을 가지며, 페놀산의 hydroxyl 기가 단백질과 같은 거대분자와의 결합을 통해 항산화, 항암, 항당뇨 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있다(Rice-Evans 등 1997). 종자의 세포벽에 유리형태 또는 세포벽 다당체에 ester 결합상태로 존재하고 있는 ferulic acid, *p*-coumaric acid 및 benzoic acid 등의 페놀산은 우수한 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있다(Middleton 등 1994). 본 연구에서 발아와 고압처리에 의해 페놀산 함량이 증가한 결과는 Yang 등(2001)과 Prasad 등(2009)의 연구에서 보고한 것처럼 발아와 고압처리에 의해 세포벽에 결합되어 있는 폴리페놀 화합물이 효소적 가수분해에 의해 유리되거나, 2차 대사산물로서 생합성에 의해 페놀산으로 전환됨에 따라 함량이 증가한 것으로 판단된다.

3. 안토시아닌 및 안토시아닌 함량

발아와 고압처리에 따른 검정팥의 안토시아닌 및 안토시아닌 함량 변화는 Table 2와 같다. Cyanidin-3-glucose, delphinidin-3-glucose, cyanidin 및 delphinidin이 검출되었고, 발아기간 및 처리압력이 증가함에 따라 총 안토시아닌 및 안토시아닌 함량은 감소하였다. 고압처리를 하지 않은 대조구는 발아 전 총 안토시아닌 및 안토시아닌 함량이 각각 22.41 및 17.62 mg/100 g이었지만, 발아 6일 이후 8.45 및 13.52 mg/100 g으로 발아기간이 증가함에 따라 감소하였다. 이는 발아기간에 따른 검정팥의 유리형 및 결합형 안토시아닌 및 안토시아닌에 대해 분석한 Kim 등(2017)의 연구결과와 유사하였다. 또한, 발아와 고압의 병행처리 시 처리압력이 증가함에 따라 총 안토시아닌 및 안토시아닌이 감소하여 대조구에서는 각각 8.45~22.42 mg/100 g 및 13.52~17.62 범위였지만, 150 MPa의 압력에서 고압처리 시 6.07~6.28 및 14.80~15.16으로 감소하였다. 발아와 고압처리에 의한 안토시아닌

Table 1. Changes in phenolic acid composition of germinated adzuki bean before and after germination with different pressure (0.1~150 MPa)

Pressure (Mpa)	Germination periods (day)	Contents of phenolic compound ($\mu\text{g/g}$)															
		Gallic acid	Gentisic acid	Chlorogenic acid	(+)-Catechin	Caffeic acid	Phloretic acid	<i>p</i> -Coumaric acid	Ferulic acid	Veratric acid	Naringin	Hesperidin	Salicylic acid	Protocatechuic acid	Cinnamic acid	Naringenin	Total
Con	0	0.3±0.00	0.21±0.01	2.7±0.01	5.11±0.01	ND	ND	0.3±0.00	0.54±0.01	0.16±0.00	0.43±0.03	0.09±0.00	0.32±0.02	0.5±0.04	3.76±0.04	0.06±0.01	14.56±0.02
	2	ND	ND	10.04±0.33	3.32±0.20	0.51±0.06	9.83±0.45	ND	2.08±0.24	ND	ND	1.39±0.00	20.37±1.34	1.4±0.12	ND	1.42±0.02	50.53±1.35
	4	ND	ND	8.71±1.99	3.05±0.24	1.24±0.02	32.71±0.00	0.11±0.05	1.58±0.03	ND	ND	1.1±0.02	29.81±1.61	9.26±0.05	ND	1.29±0.10	88.86±3.98
0.1 Mpa	0	ND	ND	6.44±0.00	2.76±0.03	0.34±0.01	5.36±1.23	0.27±0.01	1.9±0.01	ND	ND	0.21±0.01	14.53±0.02	ND	30.53±0.17	2.53±0.02	64.81±1.31
	2	ND	ND	1.64±0.45	2.42±0.02	0.32±0.14	11.9±0.49	1.76±0.01	2.5±0.03	ND	0.16±0.02	0.59±0.19	24.11±0.11	0.03±0.02	57.74±1.07	6.41±0.33	109.57±0.65
	4	ND	ND	2.01±0.01	3.7±0.05	0.86±0.00	13.06±2.87	1.76±0.01	3.63±0.03	ND	ND	1.05±0.05	23.07±0.06	0.49±0.01	90.83±0.37	9.97±0.04	150.43±2.65
50 MPa	0	0.48±0.02	ND	1.58±0.02	7.22±0.14	ND	1.75±0.54	1.88±0.03	5.66±0.20	ND	ND	1.74±0.55	35.83±9.32	0.29±0.02	60.72±0.48	18.58±0.10	135.74±7.23
	2	0.23±0.13	ND	0.46±0.00	7.39±0.28	0.39±0.08	9.87±0.03	5.16±0.10	8.4±0.04	ND	ND	0.9±0.00	39.67±1.65	0.96±0.05	57.58±0.74	11.08±9.46	142.09±12.15
	4	1.81±0.01	ND	0.57±0.00	13.77±0.06	0.77±0.21	6.99±0.59	24.25±0.23	10.75±0.19	ND	ND	ND	48.98±0.62	2.28±0.06	61.86±0.23	27.48±0.05	199.52±1.15
100 Mpa	0	0.58±0.01	ND	0.35±0.00	12.47±0.19	ND	ND	5.28±0.12	8.45±0.01	ND	ND	ND	75.39±0.59	1.38±0.03	16.51±0.14	39.66±0.75	162.17±0.07
	2	6.06±0.30	ND	0.48±0.00	11.73±0.05	ND	ND	22.85±0.13	11.73±0.12	ND	ND	ND	107.12±1.00	1.95±0.02	12.37±0.16	33.42±0.36	208.26±1.01
	4	6.99±0.03	ND	66.81±0.19	16.37±0.08	ND	ND	32.06±0.72	13.82±0.03	ND	ND	ND	ND	2.14±0.04	8.56±0.59	44.5±1.08	191.24±1.05
150 Mpa	0	17.14±0.72	ND	94.98±3.90	9.58±0.16	ND	ND	4.04±0.17	6.95±0.00	ND	ND	ND	ND	1.44±0.56	1.98±0.01	32.56±0.88	168.67±3.14
	2	14.9±0.43	ND	ND	15.71±0.72	ND	ND	18.23±0.18	10.81±0.14	ND	ND	ND	ND	2.14±0.05	ND	32.77±0.37	94.55±0.67
	4	8.68±0.25	ND	ND	12.61±0.37	ND	ND	11.7±0.07	8.46±0.19	ND	ND	ND	ND	1.24±0.01	ND	31.51±0.91	74.20±0.02

및 안토시아닌의 감소폭은 고압처리보다 발아에 의해 더 크게 나타났으며, 안토시아닌보다 안토시아닌이 더 큰 감소폭을 보였다. 안토시아닌은 극성의 수용성 색소로서 살수 과정에서 카로테노이드와 같은 지용성 색소보다 불안정하고, anthocyanin- β -glucosidase와 polyphenol oxidase와 같은 식물조직에 존재하는 효소가 안토시아닌 가수분해에 중요한 역할을 한다(Lin 등 2008). 따라서 본 연구결과는 살수과정에서 수용성 색소인 탄토시아닌 및 안토시아닌이 손실되는 것과 함께 발아와 고압처리에 의해 anthocyanin- β -glucosidase와 같은 안토시아닌 가수분해 효소의 활성화에 따라 안토시아닌이 안토시아닌으로 전환됨에 따른 결과로 판단된다(Kim 등 2016). 또한, cyanidin의 경우 catechin과 함께 cyanidin-catechin, proanthocyanidin 및 타닌의 구성성분으로서 발아와 고압처리에 의해 식물이 성장하면서 구조적인 세포벽을 지지하기 위한 타닌 및 타닌 중합체와 같은 고분자 화합물을

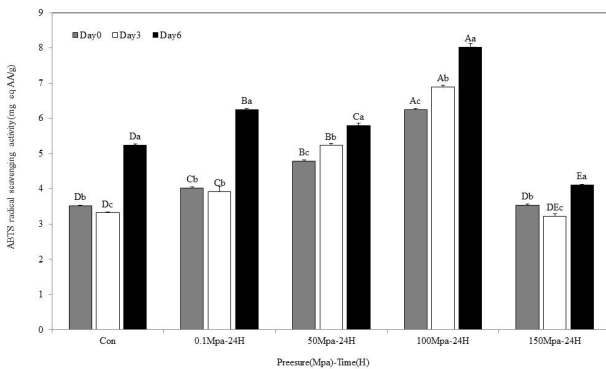
생합성하는 효소의 활성화에 따른 것으로 판단된다(Temple NJ 2000).

4. 항산화 활성

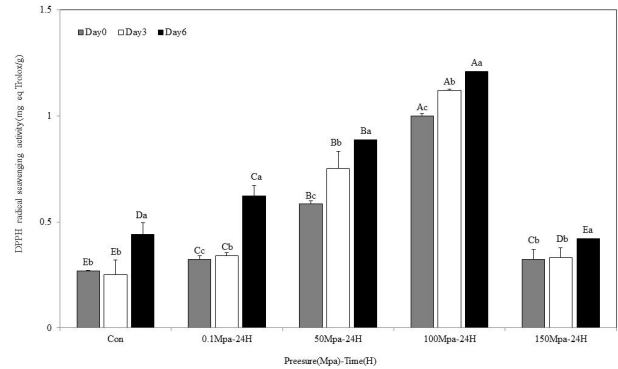
발아와 고압처리에 따른 검정팥의 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능의 변화를 측정된 결과는 Fig 3 및 4와 같다. 고압처리를 하지 않은 대조구의 항산화활성은 발아 일수가 증가함에 따라 발아 3일차에는 미량 감소하였지만, 발아 6일 이후 유의적으로 증가하는 경향을 보여 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능이 각각 발아 전 3.52 mg eq AA/g 및 5.24 mg eq Trolox/g 이었지만, 5.24 mg eq AA/g 및 0.44 mg eq Trolox/g으로 증가하였다. 이러한 결과는 발아초기 수세 과정에서 손실된 안토시아닌의 함량 변화와 함께 폴리페놀, 플라보노이드 및 페놀산 함량이 발아 후기 크게 증가함에 따른 결과로 판단된다. 또한, 6일차 발아 팥의 항산화활성에 미치는 고압처리의 효과는 처

Table 2. Changes in anthocyanin profiles of germinated adzuki bean before and after germination with different pressure (0.1~150 MPa)

Pressure (Mpa)	Germination periods (day)	Cyanidin-3-glucose	Delphinidin-3-glucose	Cyanidin	Delphinidin	Total anthocyanin	Total anthocyanidin
						(C-3-G + D-3-G)	(Cyanidin + delphinidin)
Con	0	1.44±0.07	20.98±0.14	14.17±0.06	3.45±0.02	22.42±0.07	17.62±0.05
	3	1.19±0.04	9.10±0.19	11.82±0.16	2.18±0.02	10.29±0.23	13.99±0.18
	6	0.94±0.08	7.51±0.15	11.58±0.04	1.94±0.08	8.45±0.23	13.52±0.05
0.1 Mpa	0	0.61±0.03	5.99±0.15	11.49±0.03	2.09±0.06	6.61±0.18	13.58±0.09
	3	0.23±0.03	4.06±0.05	10.70±0.04	1.61±0.02	4.28±0.08	12.31±0.02
	6	0.13±0.01	4.54±0.07	10.13±0.00	1.51±0.01	4.67±0.08	11.64±0.01
50 Mpa	0	0.06±0.08	7.26±0.04	11.14±0.10	1.95±0.06	7.32±0.04	13.10±0.16
	3	0.07±0.04	7.11±0.07	13.87±0.00	1.75±0.01	7.18±0.11	15.62±0.02
	6	ND	5.79±0.08	13.49±0.06	1.68±0.01	5.76±0.10	15.17±0.05
100 Mpa	0	ND	7.32±0.10	12.97±0.46	2.43±0.18	7.32±0.10	15.40±0.28
	3	ND	6.36±0.19	13.04±0.12	1.68±0.02	6.36±0.19	14.71±0.10
	6	ND	6.30±0.18	12.01±0.04	1.54±0.00	6.30±0.18	13.55±0.03
150 Mpa	0	ND	6.07±0.09	12.89±0.47	2.27±0.25	6.07±0.09	15.16±0.22
	3	ND	6.47±0.01	13.09±0.39	1.71±0.02	6.47±0.01	14.80±0.41
	6	ND	6.28±0.07	13.39±0.40	1.57±0.02	6.28±0.07	14.97±0.41

**Fig. 3. Change in ABTS radical scavenging activity (mg eq AA/g) of germinated adzuki bean before and after germination with different pressure (0.1~150 MPa).** Values are mean±S.D. of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different pressure (0.1~150 MPa). Different small letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different germination periods of adzuki bean.

리압력에 따라 다양하게 나타났으며, 처리압력이 증가함에 따라 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능은 각각 5.24~8.02 mg eq AA/g 및 0.44~1.21 mg eq Trolox/g의 범위로 100 MPa까지 증가하다가 150 MPa의 압력 처리 시 감소하는 경향을 보였다. 처리압력이 증가함에 따라 100 MPa의 압력까지 발아팔의 항

**Fig. 4. Change in DPPH radical scavenging activity (mg eq Trolox/g) of germinated adzuki bean before and after germination with different pressure (0.1~150 MPa).** Values are mean±S.D. of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different pressure (0.1~150 MPa). Different small letters in the same items indicate a significant difference ($p<0.05$) among different germination periods of adzuki bean.

산화 활성이 높게 나타난 결과는 총 폴리페놀, 플라보노이드 및 페놀산 함량의 변화와 유사한 경향이였으며, 발아버를 고압처리하였을 때 총 항산화력과 전자공여능이 증가한다는 Kim등(2013)의 연구에서처럼 고압처리 시에 폴리페놀화합물을 포함하여 항산화 활성을 가진 물질의 생성 또는 추출

이 용이해짐에 따라 항산화 효과가 증가되었을 것으로 판단된다.

요약 및 결론

본 연구에서는 발아기간 및 처리압력에 따른 기능성분 및 항산화 활성을 조사함으로써 팔의 기능성에 미치는 발아와 고압의 병행처리 효과에 대해 연구하였다. 발아기간은 0일, 3 및 6일로 하였고, 기간별로 발아된 팔은 0.1, 50, 100 및 150 MPa의 압력하에서 24시간 동안 처리하였다. 총 폴리페놀, 플라보노이드 및 페놀산 함량은 발아기간 및 처리압력이 증가함에 따라 발아 6일차, 100 MPa의 압력처리 조건까지 증가하다 150 MPa의 압력에서 미량 감소하였다. 발아와 고압처리에 따른 팔의 구성페놀산 변화는 gallic acid, chlorogenic acid, catechin, ρ -coumaric acid, ferulic acid, salicylic acid 및 naringenin의 함량이 압력처리에 의해 총 페놀산과 유사한 경향으로 증가하였지만, 안토시아닌 및 안토시아니딘은 발아 및 고압처리 과정에서 손실되어 감소하였다. 항산화 활성은 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능 모두 총 폴리페놀, 플라보노이드 및 페놀산 함량과 유사하게 발아기간 및 처리압력이 증가함에 따라 증가하였다. 이상의 연구결과로부터 발아와 고압의 병행처리에 의해 검정팔의 기능성분 및 항산화 활성이 향상됨을 알 수 있었으며, 발아와 고압처리를 적용하여 검정팔로부터 고부가가치의 기능성 식품소재로써 개발하기 위한 다양한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2016학년도 충북대학교 연구년제 지원에 의하여 연구되었음.

References

- Ariga T, Koshiyama I, Fukushima D. 1988. Antioxidative properties of procyanidins B-1 and B-3 from azuki beans in aqueous systems. *Agric Biol Chem* 52:2717-2722
- Chang KY, Han KS, Park JC. 1968. Studies on the selection in adzuki bean breeding. III. Phenotypic and genotypic correlations among some characters in the population of adzuki bean varieties. *Res Bul Chinju Agric Col* 7:39-44
- Choi SY, Jeong YJ, Lee SJ, Chi OH, Chegal SA. 2002. Food and Health for Modern People. Dongmyungsa, Seoul, Korea. pp.244-246
- Choi Y, Lee SM, Chun J, Lee HB, Lee J. 2006. Influence of heat treatment on the antioxidant activities and polyphenolic compounds of shiitake (*Lentinus edodes*) mushroom. *Food Chem* 99:381-387
- Choung MG. 2008. Optimal HPLC condition for simultaneous determination of anthocyanins in black soybean seed coats. *Korean J Crop Sci* 54:359-368
- Chung DS, Kim HK. 1998. Changes of protein and lipid composition during germination of *Perilla frutescens* seeds. *Korean J Life Sci* 8:318-325
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50:4959-4964
- Hwang IG, Woo KS, Kim TM, Kim DJ, Yang MH, Jeong HS. 2006. Change of physicochemical characteristics of Korean pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) juice with heat treatment conditions. *Korean J Food Sci Technol* 38:342-347
- Jung KH, Hong HD, Cho CW, Lee MY, Choi UK, Kim YC. 2012. Phenolic acid composition and antioxidative activity of red ginseng prepared by high temperature and high pressure process. *Korean J Food Nutr* 25:827-832
- Kim CT. 2009. High pressure technology for food-application and prospect as green technology. *Bull Food Technol* 22: 321-330
- Kim JS, Kim JG, Kim WJ. 2004. Changes in isoflavone and oligosaccharides of soybeans during germination. *Korean J Food Sci Technol* 36:294-298
- Kim MY, Jang GY, Lee Y, Li M, Ji YM, Yoon N, Lee SH, Kim KM, Lee J, Jeong HS. 2016. Free and bound form bioactive compound profiles in germinated black soybean (*Glycine max* L.). *Food Sci Biotechnol* 25:1551-1559
- Kim MY, Jang GY, Oh NS, Baek SY, Kim KH, Kim KM, Kim HS, Lee JS, Jeong HS. 2017. Changes in free and bound forms of bioactive compound profiles of adzuki bean with germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46:937-943
- Kim MY, Lee SH, Jang GY, Li M, Lee YL, Lee J, Jeong HS. 2015. Influence of applied pressure on bioactive compounds of germinated rough rice (*Oryza sativa* L.). *Food Bioprocess Technol* 8:2176-2181
- Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Seo MC, Oh BG, Kwak DY, Nam MH, Jeong HS, Woo KS. 2011. Changes in chemical components of foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1128-1135
- Koide T, Hashimoto Y, Kamei H, Kojima T, Hasegawa M, Terabe K. 1997. Antitumor effect of anthocyanin fractions

- extracted from red soybeans and red beans *in vitro* and *in vivo*. *Cancer Biother Radiopharm* 12:277-280
- Lee EH, Kim CJ. 2008. Nutritional changes of buckwheat during germination. *Korean J Food Cult* 23:121-129
- Lee YR, Kim JY, Woo KS, Hwang IG, Kim KH, Kim KJ, Kim JH, Jeong HS. 2007. Changes in the chemical and functional components of Korean rough rice before and after germination. *Food Sci Biotechnol* 16:1006-1010
- Lin LZ, Hamly JM, Pastor-Corrales MS, Luthria DL. 2008. The polyphenolic profiles of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem* 107:399-410
- Lopez A, El-Naggar T, Duenas M, Ortega T, Estrella I, Hernandez T, Gomez-Serranillos MP, Palomino OM, Carretero ME. 2013. Effect of cooking and germination on phenolic composition and biological properties of dark beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem* 138:547-555
- Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48:115-119
- Northrop DB. 2002. Effects of high pressure on enzymatic activity. *Biochim. Biophys Acta* 1595:71-79
- Prasad KN, Yang E, Yi C, Zhao M, Jiang Y. 2009. Effect of high pressure extraction on the extraction yield, total phenolic content and antioxidant activity of longan fruit pericarp. *Innovative Food Sci Emerg Technol* 10:155-159
- Rho CW, Son SY, Hong ST, Lee KH, Ryu IM. 2003. Agronomic characters of Korean adzuki beans (*Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi). *Korean J Plant Res* 16:147-154
- Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends Plant Sci* 2:152-159
- San Martin MF, Barbosa-canovas GV, Swanson BG. 2002. Food processing by high hydrostatic pressure. *Crit Rev Food Sci* 42:627-645
- Seo MC, Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Kwak DY, Oh BG, Yoon YN, Nam MH, Jeong HS, Woo KS. 2011. Antioxidant compounds and activities of foxtail millet, proso millet and sorghum with different pulverizing methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40:790-797
- Temple NJ. 2000. Antioxidants and disease: More questions than answers. *Nutr Res* 20:449-459
- Wang H, Murphy PA. 1994. Isoflavone content in commercial soybean foods. *J Agric Food Chem* 42:1666-1673
- 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
- Yang F, Basu TK, Ooraikul B. 2001. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *Int J Food Sci Nutr* 52:319-330
- Yoshida K, Sato Y, Okuno R, Kameda K, Isobe M, Kondo T. 1996. Structural analysis and measurement of anthocyanins from colored seed coats of vicia, phaseolus, and glycine legumes. *Biosci Biotechnol Biochem* 60:589-593
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem* 64:555-559

Received 14 December, 2017

Revised 09 January, 2018

Accepted 21 January, 2018