

고압처리가 발아벼의 항산화 성분과 활성에 미치는 영향

김민영¹ · 이상훈¹ · 장귀영¹ · 박혜진¹ · Li Meishan¹ · 김신제² · 이연리³ · 이준수¹ · 정현상^{1*}

¹충북대학교 식품공학과

²(주)에프엔피

³대전보건대학 식품영양과

Effects of High Pressure Treatment on Antioxidant Compounds and Activity of Germinated Rough Rice (*Oryza sativa* L.)

Min Young Kim¹, Sang Hoon Lee¹, Gwi Young Jang¹, Hye Jin Park¹, Li Meishan¹,
Shinje Kim², Youn Ri Lee³, Junsoo Lee¹, and Heon Sang Jeong^{1*}

¹Dept. of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

²Center for Fungi and Plant Genome Research, FnP Corp., Chungbuk 368-811, Korea

³Dept. of Food and Nutrition, Daejeon Health Sciences College, Daejeon 300-711, Korea

ABSTRACT This study is investigated to evaluate the enhancement of antioxidant compound and activity of rough rice with different germination periods and high pressure treatment. The subject was germinated at 37°C for 6 days (HP0), and then the germinated rough rice were subjected to 30 MPa for 24 hr (HP24) and 48 hr (HP48), respectively. HP0, HP24 and HP48 samples were prepared and extracted with 80% ethanol. The highest total polyphenol contents (5.15 mg/g) occurred in treating at HP48 after germination for 5 days. The total phenolic acid contents including gallic acid, chlorogenic acid, catechin, p-coumaric acid, ferulic acid, salicylic acid, naringin, myricetin, trans-cinnamic acid, naringenin and kaempferol increased from 37.26~204.32 µg/g at HP0 to 77.29~283.05 µg/g at HP48. In antioxidant activity analyses, HP48 extracts showed higher values in ABTS and DPPH radical scavenging activity, reducing power, and Fe²⁺ iron chelating effect than those of the HP24 and HP0 extracts. These results suggest that the combined treatment of high pressure treatment and germination process efficiently enhanced antioxidant compound and activity of rough rice.

Key words: rough rice, germination, high pressure treatment, antioxidant activity

서 론

벼는 세계 3대 곡물 중 하나로써 벼를 도정한 쌀은 세계인구의 절반 이상이 주식으로 이용하고 있으며(1), 최근 건강에 대한 인식이 높아짐에 따라 쌀과 발아종자를 대체 건강식품으로 전환 및 가공시키는 연구가 많이 진행되고 있다(2). 벼는 현미 80%, 왕겨 20%로 구성되어 있으며, 현미는 과피, 종피 및 호분층으로 구성된 미강과 배아 및 배유로 이루어져 있다(3). 그 중 왕겨 및 미강은 외피의 주요성분인 식이섬유가 대부분이며, 최근 연구에서는 항산화효과, 혈중콜레스테롤 저하효과 및 혈압상승 억제효과가 우수하고(4), 특히 항산화력이 우수한 tocopherol, phytic acid, phenolic acid, γ-oryzanol, GABA 및 ferulic acid 등이 함유되어 있다고 보고되었다(5).

식물 종자가 발아하면 씨눈과 배젖에 있는 비활성상태의

DNA 유전정보가 활성화가 되고 각종 효소의 활성 및 영양소가 증가하여 최대의 영양상태가 갖추어지게 된다(6). 씨눈 부분이 발아되면서 단백질과 아미노산, 지방산, 탄수화물, 비타민, 미네랄, 식이섬유 등이 변화하며, γ-oryzanol이나 arabinoxylan, GABA 및 vitamin E 등의 생리활성 성분들도 증가하고 발아 중에 효소가 활성화됨으로써 영양성분들의 체내 흡수가 용이하게 되는 것으로 알려져 있다(7). 따라서 조조, 기장, 수수(8), 메밀(9), 들깨(10), 대두(11) 등의 다양한 종자에 대한 발아에 따른 유용성분 및 생리활성의 변화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 벼 전곡을 발아시킨 연구는 발아기간에 따른 벼의 화학성분 변화(12), 발아기간과 부위에 따른 벼 추출물의 항산화 및 항암활성 변화(13) 그리고 한국산 발아 벼 추출물의 여러 가지 암세포주의 증식억제(14)에 대한 연구들이 진행되었다.

식품산업 및 제약산업의 소재개발에 많이 적용하는 고압처리기술은 10~1,000 MPa의 압력을 이용하여 압력매체로 기체나 액체를 이용해 압력을 순간적으로 균일하게 전달시키는 비가열처리 가공기술 중의 하나이며, 세포막 및 세포벽

Received 22 July 2013; Accepted 23 August 2013

*Corresponding author.

E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr, Phone: 82-43-261-2570

의 구조적 변화, 생화학적 반응, 효소반응속도에 영향을 주는 것으로 알려져 있다(15). 고압처리기술은 구조적으로 유연한 식물체내의 세포변형, 세포막손상, 단백질 변성과 같은 변화를 발생시키기 때문에 유용성분 추출 시 용출성 및 용해성을 향상시킬 수 있으며(16), 이에 따라 인삼으로부터 ginsenoside의 추출(17), 포도껍질로부터 안토시아닌의 추출(18), 미강과 더덕으로부터 페놀화합물의 추출(19,20) 등 고압처리를 이용하여 특정 유용성분의 추출효율을 증대시키는 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 또한 100 MPa 이하의 압력에서 고압처리를 실시할 경우 기질의 변성, 효소구조의 안정화, 효소와 기질의 결합력 향상 등에 따라 효소반응속도가 촉진되기 때문에(21) 고압처리에 따른 효소적 가수분해효율을 증가시키는 연구가 다양하게 진행되고 있으며, 고압효소처리에 따른 naringine 가수분해효소 활성의 변화(22), 고압처리에 따른 버섯 polyphenoloxidase의 활성화 및 구조적 변화(23), 고압효소반응에 따른 발효미강과 발효패지감자의 추출특성과 생리활성의 변화(19,24)에 대한 연구들이 진행되었다.

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

따라서 본 연구에서는 벼를 발아시킨 후 30 MPa의 압력 하에서 24시간 및 48시간 동안 고압처리를 실시하고, 발아일수와 고압처리시간에 따른 향산화 성분 및 향산화 활성의 변화를 살펴봄으로써 발아벼의 기능성증대에 미치는 고압처리공정의 효과에 대해 연구하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 발아

실험에 사용된 벼는 2011년도에 충북 증평군에서 생산된 일품 벼(*Oryza sativa* L.)이며, 발아는 Kim 등(12)의 방법에 따라 벼 500 g을 20°C의 물로 수세하고 3일간 침지시킨 다음 발아기(WGC 450, Dahan Inc, Seoul, Korea)로 발아시켰다. 발아 온도는 37°C, 습도는 80%를 유지시키면서 발아시켰으며, 물은 1일 1회씩 교환해주었고 1일 3회씩 10분간 물주기를 하면서 발아시켰다. 발아기간은 1일에서 6일로 하였고, 발아시키지 않은 벼를 대조구로 하였다.

가압처리

가압은 냉각수 순환장치가 연결된 기체가압식 압력처리장치(Non-stirred autoclave system, Ilsin autoclave Inc., Daejeon, Seoul)를 이용하였으며, 압력용기 내부의 온도는 발아조건과 동일한 37°C에서 유지되도록 하였다. 0일~6일간 발아시킨 벼를 수분과 산소투과성이 적은 알루미늄호일

필름(Newpack, Seoul, Korea)에 10 g 단위로 진공포장한 후 30 MPa의 압력 하에서 24시간과 48시간 동안 처리하였으며, 압력처리는 효소가 불활성화되지 않도록 발아벼 시료 제작 직후에 실시하였다. 발아벼 및 고압처리를 실시한 벼는 50°C의 열풍건조기(WFO-459PD, EYELA, Tokyo, Japan)에서 2일간 건조시킨 다음 냉동보관하면서 시료로 사용하였다.

추출물 제조

시료 중에 함유된 유용성분을 추출하기 위해 에탄올 추출물을 제조하였다. 에탄올 추출물은 각각 시료 중량 대비 10 배량의 80% 에탄올(v/v)을 첨가하여 1시간 동안 3회 반복하여 초음파추출하고, 이 추출물을 감압여과한 후 농축하여 동결건조(Freeze dryer, FD5508, Ilshin Lab Co., Ltd., Dongducheon, Korea)한 다음 -20°C에서 보관하면서 생리활성 측정용 시료로 사용하였다.

총 폴리페놀 함량 측정

발아와 고압처리에 따른 벼의 총 폴리페놀 함량은 Dewanto 등(25)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 g 중의 mg gallic acid로 나타내었다.

페놀산 분석

페놀산함량은 Seo 등(26)과 Jung 등(27)의 방법을 변형하여 분석하였다. 일정량의 시료에 80% MeOH를 가한 후 1시간 동안 3회 초음파 추출하였으며, 추출물은 여과지로 여과하여 감압농축 하고, 10% MeOH 50 mL로 녹인 후 di-ethyl ether : ethyl acetate(1:1) 혼합액을 이용하여 페놀산을 분리 용출하였다. 분리 용출하여 얻어진 페놀산은 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 µL로 설정하였다. 검출기는 UV 280 nm에서 검출하였으며, 칼럼은 ODS column(5 µm, 4.6×250 mm, Agilent Technologies, Santa

Clara, CA, USA)을 사용하였다. 표준물질로는 gallic acid, chlorogenic acid, (+)-catechin, caffeic acid, p-coumaric acid, rutin, ferulic acid, salicylic acid, naringin, hesperidin, myricetin, quercetin, trans-cinnamic acid, naringenin 및 kaempferol 등을 Sigma-Aldrich Co.에서 구입하여 사용하였다.

ABTS cation decolorization assay에 의한 총 항산화력 측정

총 항산화력은 ABTS cation decolorization assay 방법(28)에 의하여 측정하였다. 7.4 mM 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)(ABTS, Sigma-Aldrich Co.)와 2.6 mM potassium persulphate를 하루 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 μL 를 가하여 흡광도의 변화를 정확히 60분 후에 측정하였으며, 표준물질로서 L-ascorbic acid(AA, Sigma-Aldrich Co.)를 동량 첨가하였다.

DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl hydrazyl) 라디칼 소거능 측정

처리조건별 발아벼 추출물의 전자공여능(electron donating ability, EDA)은 Hwang 등(29)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.

환원력 측정

환원력은 Mau 등(30)의 방법에 의해 측정하였다. 추출물 250 μL 에 0.2 M sodium phosphate buffer(pH 6.6) 250 μL , 1% potassium ferricyanide [$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$] 250 μL 를 각각 혼합하여 50°C에서 20분 동안 반응시킨 후 1% trichloroacetic acid(CCl_3COOH , w/v)를 가하였다. 위 반응액을 1,000 rpm에서 10분간 원심분리 하여 상정액 500 μL 에 증류수 500 μL 를 혼합하고, 0.1% ferric chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 100 μL 를 가하여 반응액의 흡광도 값을 700 nm에서 측정하였다.

Fe²⁺ 온 킬레이팅 효과 측정

이온 킬레이팅 효과는 Singh와 Rajini(31)의 방법에 따라 측정하였다. 추출물 1 mL에 2 mM의 ferrous chloride (FeCl_2) 0.1 mL와 5 mM의 ferrozine 0.1 mL를 가한 후 증류수 0.8 mL를 혼합하여 실온에서 10분간 반응시켜 562 nm에서 흡광도를 측정하였다. 킬레이팅 효과(%)는 $[1 - (\text{sample OD} / \text{control OD}) \times 100]$ 으로 계산하였다.

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

총 폴리페놀 함량

발아기간과 고압처리시간에 따른 총 폴리페놀 함량 변화를 분석한 결과는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 고압처리 하지 않은 대조구의 발아 전 0일차 시료의 총 폴리페놀 함량은 0.43 mg/g이었지만, 발아 2, 4 및 6일차에서는 각각 0.48, 0.75 및 1.11 mg/g으로 증가하여 발아 6일차에서 가장 높게 나타났다. 그러나 30 MPa 압력에서 24 및 48시간 고압처리 시 발아 일수에 따라 각각 0.42~3.47 mg/g 및 0.40~5.15 mg/g의 범위로 대조구에 비해 증가하였다. 이러한 결과는 일품벼를 발아시킬 경우 발아기간이 증가할수록 총 폴리페놀이 증가하며(32), 조와 기장도 발아가 진행됨에 따라 총 폴리페놀 함량이 증가한다(8)고 한 결과와 유사하였다. 또한 돼지감자를 고압처리할 경우 열수추출보다 총 폴리페놀 함량이 높게 나타나며, 고압처리공정은 항산화 성분의 추출수율을 증가시키기 위한 효과적인 공정이라고 제시하고 있다(24). 일반적으로 곡류를 발아시키면 가수분해효소의 활성화에 따라 6'-O-feruloyl sucrose, 6'-O-sinapoyl sucrose, ferulic acid 및 sinapinic acid와 같은 페놀성 화합물의 함량이 증가하는 것으로 알려져 있으며(33), 본 연구결과 발아와 가압처리를 병행하였을 때 세포벽가수분해효소의 활성이 증가하고, 그에 따라 추출 시 6'-O-feruloyl sucrose, 6'-O-sinapoyl sucrose, ferulic acid 및 sinapinic acid와 같

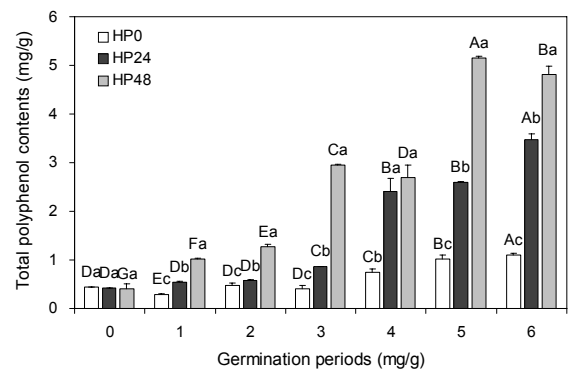


Fig. 1. Change of total polyphenol contents of germinated rough rice with high pressure treatment (30 Mpa, 24~48 hr). Values are mean±SD of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($P < 0.05$) among different germination periods. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P < 0.05$) among different pressure treatment of germinated rough rice.

은 페놀성화합물의 용출이 용이해진 것으로 판단된다.

페놀산 함량

발아 및 고압처리에 따른 일품벼의 페놀산에 대해 정량 분석한 결과는 Table 1과 같으며, 표준물질 및 발아벼 추출물에 대한 크로마토그램이 Fig. 2와 같다. 15종의 표준물질 중 rutin, hesperidin, quercetin을 제외한 12종의 페놀산이 검출되었고 발아 일수와 고압처리시간이 증가함에 따라 총 페놀산 함량은 증가하였으며, 6일간 발아시킨 벼를 48시간 동안 고압처리를 하였을 경우 283.05 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높게 나타났는데, 이러한 결과는 총 폴리페놀함량의 결과와 유사한 경향이였다. 또한 gallic acid, chlorogenic acid, catechin, caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, myricetin, naringenin 및 kaempferol의 구성 페놀산 함량은 발아 일수 및 고압처리 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. Gallic acid, catechin, caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid, naringenin 및 kaempferol 함량은 대조구에서는 각각 0.85, 2.98, 0.57, 3.80, 2.51, 3.7 및 8.8 $\mu\text{g/g}$ 이었지만 6일간 발아시킨 벼를 30 MPa의 압력 하에서 48시간 동안 처리할 경우 각각 65.95, 28.75, 45.76, 24.45, 25.48, 20.2 및 22.86 $\mu\text{g/g}$ 으로 증가하였다. Chlorogenic acid와 myricetin은 대조구에서는 검출이 되지 않았지만, 30 MPa의 압력 하에서 48시간 동안 처리할

경우에는 각각 13.02 및 9.16 $\mu\text{g/g}$ 으로 증가하였다. 반면 salicylic acid와 trans-cinnamic acid의 함량은 발아 후기에 증가하였지만 고압처리 시 감소하는 경향을 나타내었으며, naringin 함량의 경우 발아 및 고압처리에 의해 감소하는 경향을 나타내었다.

페놀산은 식물계에 널리 분포되어 있는 물질로 다양한 구조와 분자량을 가지며 페놀산의 hydroxyl기가 단백질과 같은 거대분자와의 결합을 통해 항산화, 항암, 항당뇨 및 항균 등의 생리기능을 가지는 것으로 알려져 있으며(34), 곡류의 세포벽에 유리형태 또는 세포벽 다당체에 ester 결합상태로 존재하고 있는 ferulic acid, *p*-coumaric acid, benzoic acid 등의 페놀산은 우수한 항산화력을 가지는 것으로 알려져 있다(35). 발아벼의 페놀산 함량이 증가한 결과는 Yang 등(36)의 연구에서 보고한 것처럼 발아과정 동안 세포벽에 결합되어 있는 폴리페놀 화합물이 효소적 가수분해 및 생합성에 의해 구성 페놀산으로 전환됨에 따라 함량이 증가한 것으로 판단되며, 발아 밀의 페놀산 조성을 분석한 Hung 등(37)의 연구에서 또한 발아밀의 총 페놀산함량이 448.3 $\mu\text{g/g}$ 으로 일반밀의 261.5 $\mu\text{g/g}$ 에 비해 높게 나타났고, 구성 페놀산 중 vanillic acid, caffeic acid, *p*-coumaric acid, ferulic acid의 함량이 유의적으로 증가한다고 보고하였다.

또한 고압처리에 의한 발효미강의 phenolic compound의 함량 증대에 대한 Kim과 Han(19)의 연구에서 100 MPa

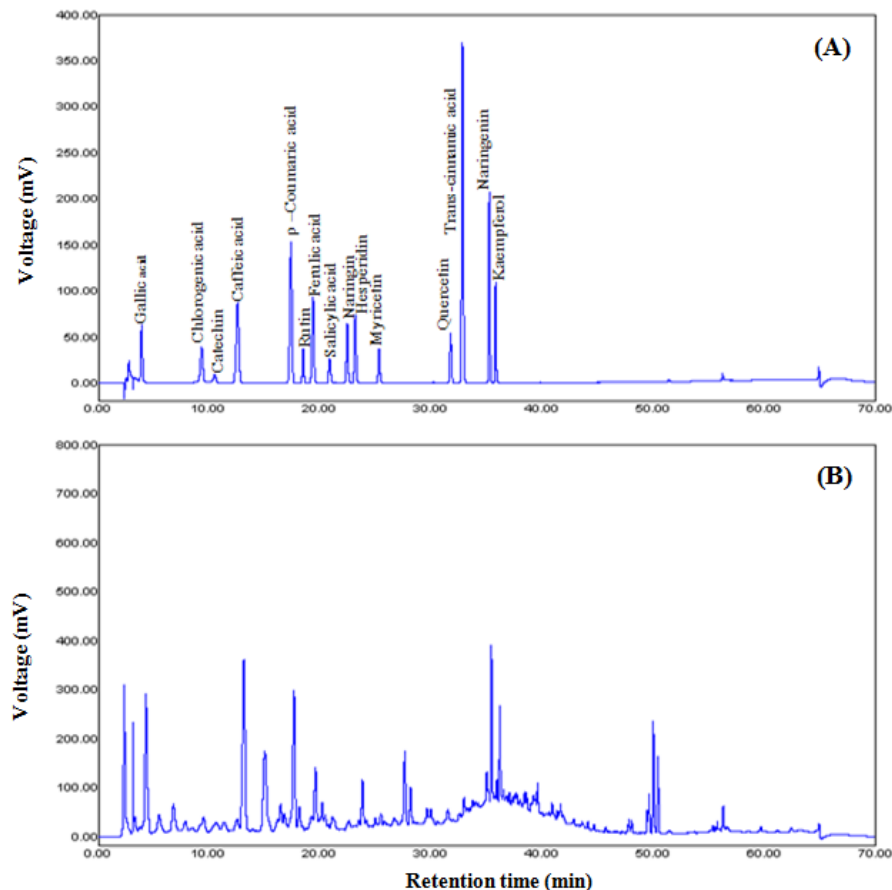


Fig. 2. The chromatograms of phenolic acids on standard mixture (A) and germinated rough rice (B).

Table 1. Change of phenolic acid contents of germinated rough rice with high pressure treatment (30 MPa, 24~48 hr)

High pressure treatment time	Germination periods (day)	Contents of phenolic compound (µg/g)												
		Gallic acid	Chlorogenic acid	Catechin	Caffeic acid	p-Coumaric acid	Ferulic acid	Salicylic acid	Naringin	Myricetin	Trans-cinnamic acid	Naringenin	Kaempferol	Total
HP0	0	0.85±0.01 ^{Cc}	ND	2.98±0.21 ^{Cc}	0.57±0.01 ^{Ec}	3.8±0.15 ^{Eb}	2.51±0.04 ^{Db}	ND	2.34±0.11 ^{ABCa}	ND	11.7±0.62 ^{Fb}	3.7±0.30 ^{Ec}	8.80±0.50 ^{Bb}	37.26
	1	0.99±0.07 ^{Ch}	ND	4.47±0.75 ^{Cb}	0.65±0.01 ^{Ec}	4.5±0.06 ^{Eb}	3.34±0.03 ^{Db}	ND	2.15±0.12 ^{Ca}	ND	14.22±1.37 ^{Fa}	5.34±0.16 ^{Dc}	9.84±1.12 ^{Ba}	45.50
	2	1.37±0.05 ^{Cc}	ND	4.01±0.07 ^{Cb}	0.89±0.07 ^{Dc}	6.95±0.09 ^{Db}	5.48±0.06 ^{Cc}	2.15±0.13 ^{DEc}	2.34±0.09 ^{ABCa}	ND	30.81±0.54 ^{Ea}	7.34±0.32 ^{Cc}	8.61±0.75 ^{Bb}	69.96
	3	1.47±0.13 ^{Cc}	ND	6.10±0.46 ^{BCb}	1.06±0.09 ^{Dc}	8.55±1.21 ^{Cb}	8.64±0.70 ^{Bb}	3.15±0.12 ^{Dc}	1.92±0.19 ^{Ca}	3.59±0.08 ^{Cb}	48.24±1.64 ^{Ca}	8.34±0.95 ^{Cc}	8.38±0.81 ^{Bc}	98.91
	4	3.39±0.49 ^{Cc}	ND	8.63±1.05 ^{ABb}	2.24±0.26 ^{Cb}	11.76±0.36 ^{Ba}	12.36±0.34 ^{Aa}	12.42±1.02 ^{Ca}	2.21±0.06 ^{BCa}	3.32±0.53 ^{Cb}	40.43±2.56 ^{Da}	12.70±1.71 ^{Ba}	9.35±1.49 ^{Bb}	116.16
	5	11.08±1.77 ^{Bc}	1.53±0.05 ^{Bc}	8.84±2.57 ^{Bc}	4.54±0.02 ^{Bc}	15.18±0.27 ^{Ab}	13.38±1.75 ^{Ab}	30.53±1.05 ^{Aa}	2.64±0.52 ^{ABa}	6.08±0.12 ^{Bb}	57.47±2.40 ^{Ba}	16.05±0.66 ^{Aa}	14.79±1.38 ^{Aa}	182.10
HP24	0	21.21±3.57 ^{Aa}	2.86±0.24 ^{Aa}	10.55±4.07 ^{Ab}	8.76±0.11 ^{Aa}	15.02±0.29 ^{Ab}	12.71±0.10 ^{Ab}	28.17±2.93 ^{Ba}	2.78±0.18 ^{Aa}	8.29±0.06 ^{Aa}	64.91±6.32 ^{Aa}	15.19±0.52 ^{Ab}	13.86±1.13 ^{Ab}	204.32
	1	1.14±0.13 ^{Eb}	ND	4.34±0.44 ^{Eb}	1.32±0.22 ^{Eb}	7.43±0.26 ^{Ca}	6.19±0.27 ^{Da}	7.90±0.30 ^{Da}	1.84±0.03 ^{Ab}	ND	21.8±3.56 ^{ABa}	11.75±0.12 ^{DEa}	11.64±2.65 ^{BAb}	75.37
	2	3.98±0.06 ^{Db}	0.59±0.01 ^{Db}	3.79±0.64 ^{Eb}	1.42±0.30 ^{Eb}	7.97±0.53 ^{Ca}	8.4±0.04 ^{BCDa}	8.50±0.26 ^{Da}	1.86±0.04 ^{Ab}	ND	13.37±0.19 ^{Ca}	11.9±0.39 ^{Da}	13.26±4.07 ^{Ba}	71.79
	3	36.07±1.91 ^{Bb}	7.81±0.65 ^{Aa}	17.13±1.79 ^{Ba}	2.49±0.21 ^{Eb}	7.55±0.13 ^{Cab}	7.55±0.73 ^{CDb}	7.99±0.21 ^{Da}	1.79±0.01 ^{Ab}	5.83±0.11 ^{Bb}	13.36±0.63 ^{Cc}	11.04±0.03 ^{EFb}	11.43±6.03 ^{BAb}	77.12
	4	25.96±1.14 ^{Cb}	4.26±0.17 ^{Bb}	8.68±0.33 ^{Db}	17.28±0.49 ^{Cb}	10.98±2.42 ^{Ba}	11.12±2.16 ^{ABb}	12.09±1.30 ^{ABa}	1.78±0.22 ^{Aa}	2.27±0.20 ^{Cb}	17.29±1.27 ^{BCc}	13.04±0.78 ^{Cb}	14.92±2.24 ^{Bb}	161.77
	5	38.67±2.31 ^{Ab}	7.65±0.35 ^{Ab}	18.99±0.46 ^{Ab}	24.81±1.62 ^{Ab}	13.16±0.36 ^{Ac}	12.83±2.13 ^{Ab}	12.54±0.20 ^{Ab}	1.01±0.06 ^{Cb}	4.98±0.29 ^{Bc}	20.46±2.62 ^{ABb}	10.69±0.04 ^{Fab}	14.58±0.26 ^{Ba}	131.42
HP48	0	35.65±1.50 ^{Bb}	6.16±0.10 ^{Cb}	14.26±1.79 ^{Cb}	19.19±0.69 ^{Bb}	12.24±0.66 ^{ABc}	9.76±1.64 ^{BCc}	11.22±0.18 ^{Bb}	ND	10.23±1.56 ^{Aa}	23.3±0.75 ^{Ab}	14.22±0.68 ^{Bb}	22.93±3.99 ^{Aa}	179.15
	1	2.4±0.06 ^{Fa}	0.75±0.08 ^{Ea}	5.86±0.72 ^{Da}	1.75±0.04 ^{Fa}	7.56±0.16 ^{Da}	5.43±1.72 ^{Fa}	6.53±0.09 ^{CDb}	1.47±0.10 ^{Ac}	7.91±0.26 ^{Ba}	14.78±1.22 ^{Bb}	10.04±0.08 ^{CDb}	12.79±0.91 ^{Ca}	77.29
	2	4.37±0.31 ^{EFa}	1.07±0.08 ^{Ea}	9.27±0.76 ^{Ca}	3.97±0.00 ^{EFa}	8.61±0.42 ^{Da}	8.36±0.03 ^{Ea}	6.77±0.32 ^{Cb}	1.06±0.06 ^{Bc}	6.01±0.59 ^{Ba}	15.05±1.50 ^{Ba}	10.9±0.65 ^{CDb}	13.45±0.26 ^{Ca}	88.89
	3	7.09±1.55 ^{Ea}	1.4±0.03 ^{DEa}	10.77±0.03 ^{Ca}	6.75±0.38 ^{Ea}	8.76±1.15 ^{Da}	9.05±0.93 ^{Ea}	6.84±0.15 ^{Cb}	0.67±0.05 ^{Cc}	6.30±0.10 ^{Ba}	16.69±2.51 ^{Bb}	11.93±0.40 ^{Ca}	16.37±0.81 ^{BCa}	102.62
	4	45.27±5.12 ^{Ca}	2.73±0.10 ^{Db}	16.5±0.60 ^{Ba}	21.11±1.77 ^{Ca}	17.97±1.25 ^{Bb}	16.84±0.56 ^{Ca}	10.5±0.42 ^{Bb}	1.07±0.09 ^{Bb}	3.37±0.05 ^{Ca}	23.58±4.85 ^{Ba}	15.05±0.44 ^{Ba}	21.85±3.62 ^{Ba}	195.84
	5	35.76±0.63 ^{Da}	5.92±0.26 ^{Ca}	15.77±1.49 ^{Ba}	14.9±3.93 ^{Da}	11.19±0.34 ^{Cab}	12.33±0.09 ^{Da}	5.86±0.03 ^{Dc}	ND	5.33±0.90 ^{Ba}	12.93±2.36 ^{Bc}	8.96±0.78 ^{Db}	13.31±0.05 ^{Ca}	142.27
HP48	5	53.43±0.91 ^{Ba}	16.4±1.48 ^{Aa}	29.26±2.57 ^{Aa}	32.41±1.30 ^{Ba}	18.98±1.03 ^{Ba}	20.81±2.32 ^{Ba}	11.47±1.14 ^{Ab}	ND	7.58±0.58 ^{Ba}	16.21±1.62 ^{Bb}	15.22±0.14 ^{Ba}	19.9±2.09 ^{ABa}	241.67
	6	65.95±0.66 ^{Aa}	13.02±1.42 ^{Ba}	28.75±2.40 ^{Aa}	45.76±1.77 ^{Aa}	24.45±0.48 ^{Aa}	25.48±0.10 ^{Aa}	11.19±0.30 ^{ABb}	ND	9.16±0.73 ^{Aa}	16.23±0.71 ^{Bb}	20.2±1.30 ^{Aa}	22.86±3.76 ^{Aa}	283.05

Values are mean±SD of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different germination periods. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different pressure treatment of germinated rough rice.

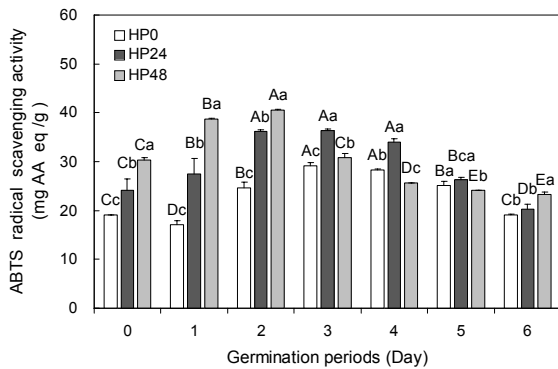


Fig. 3. Change of ABTS radical scavenging activity of germinated rough rice with high pressure treatment (30 Mpa, 24~48 hr). Values are mean±SD of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different germination periods. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different pressure treatment of germinated rough rice.

의 고압처리 시 세포벽 성분의 추출효율이 증대되고, 폴리페놀화합물의 효소적 가수분해효율이 증대됨에 따라 gallic acid, caffeic acid, vanillic acid 및 ferulic acid의 함량이 증가한다는 연구결과로 미루어 볼 때, 본 연구에서도 고압에 의한 세포벽의 구조적 변화는 발아벽 세포벽내의 페놀산의 추출효율을 증가시키고(38), 발아 및 고압처리과정 동안 세포벽가수분해효소의 활성이 증대됨에 따라 hydrocinamic acid 종류의 페놀산 함량이 증가한 것으로 판단된다(19).

총 항산화력

고압처리에 따른 발아벽의 총 항산화력의 변화를 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 고압처리를 실시하지 않은 대조구와 24시간 동안 고압처리한 발아벽의 경우 발아 3일까지 총 항산화력이 증가하는 경향을 보였으며, 48시간 동안 고압처리한 발아벽은 발아 2일까지 증가하다가 감소하는 경향을 보였다. 또한 고압처리시 24시간 처리구와 48시간 처리구가 각각 발아 3일차와 발아 2일차에서 36.42 및 40.52 mg AA eq/g의 총 항산화력을 나타내어 대조구인 3일차 발아벽의 29.14 mg AA eq/g에 비해 높게 나타났다. 이러한 결과는 Kim 등(32)의 연구에서 일품벼를 발아시켰을 때 발아 4일차에서 최댓값을 보인 후 감소하는 결과와 유사하게 나타났다으며, 이는 발아 후 일정기간 증가하였다가 감소하는 항산화 성분인 vitamin E 및 γ -oryzanol의 함량변화에 따른 것으로 판단된다(12). 또한 고압처리 시 대조구에 비해 총 항산화력이 높게 나타난 결과는 총 폴리페놀 함량 및 페놀산함량의 변화와 유사한 경향이었으며, 발효미강 및 발효돼지감자를 고압처리 하였을 때 ABTS radical 소거능이 증가한다는 Kim 등(19,24)의 연구에서처럼 가압 시에 페놀화합물을 포함하여 항산화 활성을 가진 물질의 생성 또는 추출이 용이해짐에 따라 항산화 효과가 증가되었을 것으로 생각된다.

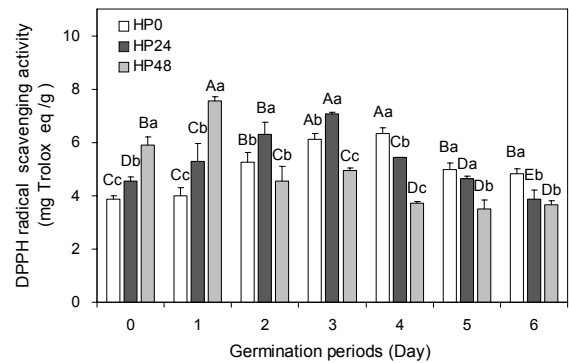


Fig. 4. Change of DPPH radical scavenging activity of germinated rough rice with high pressure treatment (30 Mpa, 24~48 hr). Values are mean±SD of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different germination periods. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different pressure treatment of germinated rough rice.

DPPH 라디칼 소거능

고압처리 따른 발아벽의 전자공여능의 변화를 측정된 결과는 Fig. 4와 같다. 고압처리를 실시하지 않은 대조구의 발아벽은 발아 4일까지 전자공여능이 증가하다가 발아 5일차부터 감소하는 경향을 보여, 발아 전 0일차 시료의 DPPH 라디칼 소거능은 3.86 mg Trolox eq/g이었지만 발아 2일차 및 4일차에서는 각각 5.27 및 6.34 mg Trolox eq/g으로 증가하였고, 발아 5일차 및 6일차에서는 각각 4.99 및 4.83 mg Trolox eq/g으로 감소하였다. 또한 대조구의 경우 발아 4일차 시료에서 6.34 mg Trolox eq/g을 나타내었지만 고압처리 24시간 처리구에서는 발아 3일차가 7.07 mg Trolox eq/g으로 그리고 48시간 처리구는 발아 1일차 시료에서 7.57 mg Trolox eq/g으로 가장 높게 나타나 고압처리 시료가 대조구에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 총 항산화력에 대한 결과와 마찬가지로 발아 및 고압처리 시 γ -oryzanol, vitamin E 및 페놀화합물 등의 항산화 성분의 생성이 증대되며, 이에 따라 DPPH에 의한 전자공여능이 증가되었을 것으로 판단된다. 또한 일품벼(32)와 거대배아미(39)의 발아 전후 에탄올 추출물의 라디칼 소거능을 살펴본 결과에서도 각각 발아초기에 비해 발아 2일과 발아 3일에 DPPH 라디칼 소거능이 증가하였다는 결과와 유사한 경향을 나타내었으며, 고압처리를 실시한 녹차 추출물의 항산화 활성에 대한 Xi 등(40)의 연구에서 고압처리를 실시한 녹차추출물이 일반녹차추출물에 비해 DPPH 라디칼 소거능이 유의적으로 높게 나타난다는 결과와도 유사한 경향을 나타내었다.

환원력

환원력은 시료에 존재하는 reductones가 제공하는 수소 원자가 활성산소 사슬을 분해함으로써 항산화 활성을 나타내는 것으로(41) 고압처리에 따른 발아벽의 환원력 변화를

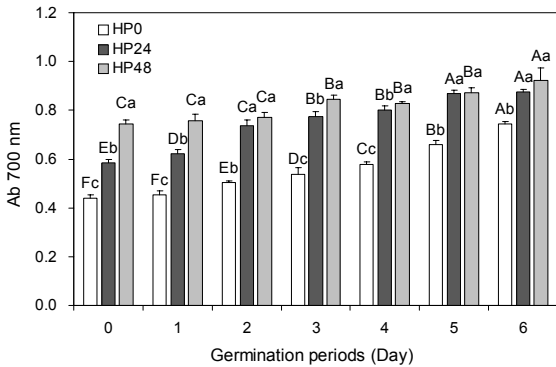


Fig. 5. Change of reducing power of germinated rough rice with high pressure treatment (30 Mpa, 24~48 hr). Sample concentration: 5 mg/mL. Values are mean±SD of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different germination periods. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different pressure treatment of germinated rough rice.

나타낸 결과 발아 일수와 고압처리시간이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였으며(Fig. 5), 이러한 결과는 총 폴리페놀 함량 및 페놀산함량 변화와 유사한 경향이였다. 각각의 환원력은 5 mg/mL의 농도에서 측정한 것으로 대조구의 경우 발아 전 0일차 추출물의 환원력은 0.44이나 발아 5일 및 6일차에서는 각각 0.66 및 0.74로 증가하여 6일차에 가장 높은 환원력을 나타내었다. 또한 고압처리한 발아벼의 경우 24시간 처리구와 48시간 처리구에서 각각 0.59~0.87 및 0.74~0.92 범위로 대조구에 비해 높게 나타났다. 일품벼(32), 거대배아미(39), 시판특수미(42)의 발아 시 항산화활성을 연구한 결과에 의하면 발아시킨 후 환원력은 발아 전보다 월등히 높게 증가하였는데 본 연구에서 또한 6일간 발아 시킴에 따라 발아초기보다 발아 후기에 환원력이 증가됨을 확인할 수 있었다. 또한 발아와 가압을 병행처리 하였을 때 환원력이 증가한 결과는 수소원자를 함유하고 있는 대표적인 reductones인 폴리페놀 및 페놀산 함량이 증가한 결과에서 기인한 것으로 판단된다(41).

이온킬레이팅 효과

고압처리에 따른 발아벼의 이온킬레이팅 효과를 나타낸 결과는 Fig. 6에서 보는 바와 같이 전반적으로 모든 처리구에서 발아가 진행됨에 따라 증가하는 경향을 보였으며 이러한 결과는 총 폴리페놀 함량, 페놀산 함량 및 환원력의 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 대조구의 경우 이온킬레이팅 효과는 0일차에 25.12%이었던 것이 발아 5일차에 62.42%로 증가하였으며, 고압처리를 실시한 처리구의 경우 24시간 처리구와 48시간 처리구가 각각 발아 4일차와 발아 6일차에서 60.08%와 90.03%의 효과를 나타내어 대조구에 비해 월등히 높게 나타났다. Ferrous iron chelating 효과는 지질의 산화를 촉매하는 전이금속 이온들과 결합하여 반응계로부터 제거됨으로써 간접적인 항산화 활성을 나타내며(43), 일

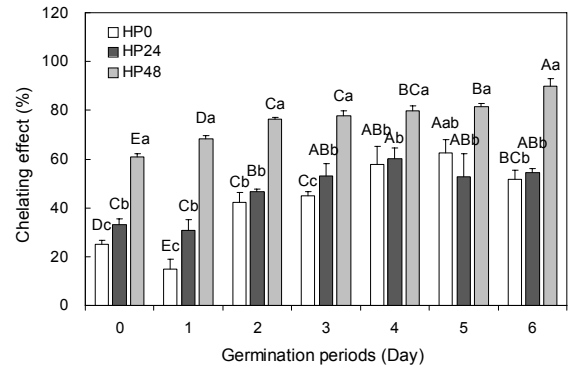


Fig. 6. Change of Fe iron chelating effect of germinated rough rice with high pressure treatment (30 Mpa, 24~48 hr). Sample concentration: 10 mg/mL. Values are mean±SD of 3 replicates. Different capital letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different germination periods. Different small letters in the same items indicate a significant difference ($P<0.05$) among different pressure treatment of germinated rough rice.

반적으로 ferrozine과 ferrous ion의 chelating을 억제하는 정도를 측정하는 것(44)으로 알려져 있다. 따라서 환원력의 결과와 마찬가지로 발아 및 고압처리 시 다양한 페놀산 및 페놀화합물의 생성 및 추출이 증대되고, 이에 따라 산화를 촉매하는 전이금속이온을 제거할 수 있는 성분이 증가한 것으로 판단되며, 추후에 어떠한 성분에 의해 이온킬레이팅 효과가 증가되었는지에 대한 연구가 필요하다고 생각한다.

요 약

본 연구에서는 발아기간 및 고압처리 시간에 따른 항산화 성분 및 항산화 활성을 조사함으로써 발아벼의 항산화 활성에 미치는 고압처리공정의 효과에 대해 연구하였다. 발아기간은 6일까지로 하였고, 기간별로 발아된 벼는 30 MPa의 압력 하에서 24시간 및 48시간 동안 처리하였다. 총 폴리페놀함량은 48시간 고압처리를 실시한 6일차 발아벼가 5.15 mg/g으로 고압처리를 실시하지 않은 6일차 발아벼의 1.11에 비하여 증가하였으며, 15종의 페놀산 중 gallic acid 외 6종의 페놀산과 총 페놀산함량이 발아기간 및 고압처리 시간이 증가함에 따라 유의적으로 증가하였다. ABTS 라디칼 소거능과 DPPH 라디칼 소거능은 대조구의 경우 발아 4일차에서 최대 값을 나타내었으며, 고압처리 24시간 처리구와 48시간 처리구 모두 대조구에 비해 높았다. 환원력과 이온킬레이팅 효과는 총 폴리페놀, 페놀산 함량과 유사하게 발아기간 및 고압처리시간이 증가함에 따라 증가하였다. 본 연구 결과 발아와 가압을 병행처리 하였을 때 일반벼 및 발아벼에 비해 항산화 성분 및 항산화 활성이 증가함을 알 수 있었으며, 발아벼의 기능성을 증대시키기 위하여 고압처리공정의 적용이 효과적이라고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 고부가가치식품기술개발사업(과제번호: 112077-03-SB010)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- Lim CS, Li CY, Kim YM, Lee WY, Rhee HI. 2005. The inhibitory effect of *Cornus walteri* extract against α -amylase. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 48: 103-108.
- Kang MY, Lee YR, Nam SH. 2003. Characterization of the germinated rices to examine an application potentials as functional rice processed foods. *Korean J Food Sci Technol* 35: 696-701.
- Kim LS, Son YK, Son JR, Hur HS. 2001. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J Crop Sci* 46: 221-228.
- Saunders RM. 1990. The properties of rice bran as a food stuff. *CFW* 35: 632-636.
- Andreason MF, Christensen LP, Meyer AS, Hansen A. 1999. Release of hydroxycinnamic and hydroxybenzoic acids in rye by commercial plant cell wall degrading enzyme preparations. *J Sci Food Agric* 79: 411-413.
- Bartnick M, Szafranska I. 1987. Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. *J Cereal Sci* 5: 23-28.
- 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.
- 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.
- Lee EH, Kim CJ. 2008. Nutritional changes of buckwheat during germination. *Korean J Food Culture* 23: 121-129.
- Ghung DS, Kim HK. 1998. Changes of protein and lipid composition during germination of *Perilla frutescens* seeds. *Korean J Life Science* 8: 318-325.
- 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 HY, Hwang IG, Kim TM, Park DS, Kim JK, Kim DJ, Lee YR, Lee JS, Jeong HS. 2011. Changes in chemical composition of rough rice (*Oryza sativa* L.) according to germination period. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1265-1270.
- Kim HY, Hwang IG, Kim TM, Park DS, Kim JH, Kim DJ, Lee JS, Jeong HS. 2011. Antioxidant and angiotensin converting enzyme I inhibitory activity on different parts of germinated rough rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 775-780.
- Kim HY, Hwang IG, Joung EM, Kim TM, Kim DJ, Park DS, JS Lee, Jeong HS. 2010. Antiproliferation effects of germinated-Korean rough rice extract on human cancer cells. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 325-330.
- Kwon SM, Kim CM, Kim YH. 2007. Biological characteristics of instant rice treated with high hydrostatic pressure. *Food Science and Industry* 40(3): 31-35.
- San Martin MF, Barbosa-Cánovas GV, Swanson BG. 2002. Food processing by high hydrostatic pressure. *Crit Rev Food Sci Nutr* 42: 627-645.
- Kim SO, Park CW, Moom S, Lee HA, Kim B, Lee DU, Lee JH, Park J. 2007. Effects of high-hydrostatic pressure on ginsenoside concentrations in Korean red ginseng. *Food Sci Biotechnol* 16: 848-853.
- Corrales M, Toepfl S, Butz P, Knorr D, Tauscher B. 2008. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 9: 85-91.
- Kim D, Han GD. 2012. High Hydrostatic pressure treatment combined with enzymes increase the extractability and bio-activity of fermented rice bran. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 16: 191-197.
- Park SJ, Park DS, Lee SB, He X, Ahn JH, Woon WB, Lee HY. 2010. Enhancement of antioxidant activities of *Codonopsis lanceolata* and fermented *Codonopsis lanceolata* by ultra high pressure extraction. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39: 1898-1902.
- Northrop DB. 2002. Effects of high pressure on enzymatic activity. *Biochim Biophys Acta* 1595: 71-79.
- Real V, Alfaia AJ, Calado ART, Ribeiro MHL. 2007. High pressure-temperature effects on enzymatic activity: Naringin bioconversion. *Food Chem* 102: 565-570.
- Liu W, Liu J, Liu C, Zhong Y, Liu W, Wan J. 2009. Activation and conformational changes of mushroom polyphenoloxidase by high pressure microfluidization treatment. *Innovative Food Sci Emerging Technol* 10: 142-147.
- Kim D, Fan JP, Chung HC, Han GD. 2010. Changes in extractability and antioxidant activity of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers by various high hydrostatic pressure treatments. *Food Sci Biotechnol* 19: 1365-1371.
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
- 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, 93 proso millet and sorghum with different pulverizing methods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 790-797.
- 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.
- 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.
- 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.
- Mau JL, Lin HC, Song SF. 2002. Antioxidant properties of several specialty mushrooms. *Food Res Int* 35: 519-526.
- Singh N, Rajini PS. 2004. Free radical scavenging activity of an aqueous extract of potato pell. *Food Chem* 85: 611-616.
- Kim HY, Lee SH, Hwang IG, Jeong HS. 2012. Antioxidant activity and anticancer effects of rough rice (*Oryza sativa* L.) by germination periods. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 14-19.
- Tian S, Nakamura K, Cui T, Kayahara H. 2005. High-per-

- formance liquid chromatographic determination of phenolic compounds in rice. *J Chromatogr A* 1063: 121-128.
34. Rice-Evans C, Miller N, Paganga G. 1997. Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Sci* 2: 152-159.
 35. Middleton E, Kandaswami C. 1994. Potential health-promoting properties of citrus flavonoids. *Food Technol* 48: 115-119.
 36. Yang F, Basu TK, Oraikul B. 2001. Studies on germination conditions and antioxidant contents of wheat grain. *Int J Food Sci Nutr* 52: 319-330.
 37. Hung PV, Hatcher DW, Barker W. 2011. Phenolic acid composition of sprouted wheats by ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and their antioxidant activities. *Food Chem* 126: 1896-1901.
 38. Xi J, Shen D, Zhao S, Lu B, Li Y, Zhang R. 2009. Characterization of polyphenols from green tea leaves using a high hydrostatic pressure extraction. *Int J Pharm* 382: 139-143.
 39. Kang MY, Kim S, Koh HJ, Nam SH. 2004. Antioxidant activity of ethanolic extract from germinated giant embryonic rices. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 47: 293-299.
 40. Xi J, Shen D, Li Y, Zhang R. 2011. Ultrahigh pressure extraction as a tool to improve the antioxidant activities of green tea extracts. *Food Res Int* 44: 2783-2787.
 41. Gordon MF. 1990. The mechanism of antioxidant action *in vitro*. In *Food Antioxidants*. Hudson B, ed. Elsevier Applied Science, London, UK. p 1-18.
 42. Lee YR, Woo KS, Kim JY, Son JR, Jeong HS. 2007. Antioxidant activities of ethanol extracts from germinated specialty rough rice. *Food Sci Biotechnol* 16: 765-770.
 43. Hsu CL, Chen W, Weng YM, Tseng CY. 2003. Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. *Food Chem* 83: 85-92.
 44. Elmastas M, Gulcin I, Isildak O, Kufrevioglu OI, Ibaoglu K, Aboul-Enein HY. 2006. Radical scavenging activity and antioxidant capacity of bay leaf extracts. *J Iran Chem Soc* 3: 258-266.