KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 47, No. 2, pp. 198~203 (2015)
http://dx.doi.org/10.9721/KJFST.2015.47.2.198

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY

©The Korean Society of Food Science and Technology

고압처리가 발아벼의 화학성분 변화에 미치는 영향

김민영 · 이상훈 · 장귀영 · 박혜진 · 윤나라 · 이연리[1] · 이준수 · 정헌상*
충북대학교 식품공학과, [1]대전보건대학 식품영양과

Effects of High Hydrostatic Pressure Treatment on the Chemical Composition of Germinated Rough Rice (*Oryza sativar* L.)

Min Young Kim, Sang Hoon Lee, Gwi Yeong Jang, Hye Jin Park, Nara Yoon, Youn Ri Lee[1], Junsoo Lee, and Heon Sang Jeong*
Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University
[1]Department of Food and Nutrition, Daejeon Health Sciences College

Abstract This study was performed to evaluate changes in the chemical composition of germinated rough rice with high hydrostatic pressure treatment (HPT). Rough rice was germinated at 37°C over 6 days (control), and then subjected to HPT at 30 MPa for 24 h. The highest crude protein content was 9.54% in the control sample after 6 days of germination. Crude lipid content increased from 2.04-2.74% (control) to 2.27-3.10% (HPT). HPT samples showed higher values of total free sugar and glucose content than those of the control. The total amino acid value was not significant, but the essential amino acid content increased from 0.45-5.09 mg/g in the control to 1.57-5.30 mg/g in the HPT sample. The major fatty acids were found to be palmitic, oleic, and linoleic acid. The content of oleic acid decreases with HPT, whereas that of linoleic and linolenic acid increased slightly during the initial stages of germination. These results suggest that HPT after germination efficiently depolymerizes chemical components and enhances the content of essential nutrients.

Keywords: rough rice, germination, high pressure treatment, chemical component

서 론

벼는 우리나라를 비롯한 아시아, 아프리카 및 라틴아메리카 지역에서 주식으로 이용되는 작물(1)로 왕겨와 미강을 제거한 백미는 대부분 취반용 또는 일부 가공식품의 원료로 사용되고 있으며(2), 도정 과정에서 생산되는 왕겨 및 미강은 사료용 또는 퇴비용으로 이용되고 있다(3).

씨앗에 수분이 흡수되면 종피로의 수분 및 가스 투과성이 증가하고 씨앗 내 효소들이 활성화되어 영양성분들이 분해되고 발아에 필요한 물질을 합성하기 시작한다(4). 특히 씨앗에 저장된 단백질은 가용성 아미노산으로, 전분은 포도당으로 그리고 지방은 지방산과 glycerol로 분해된다. 지방산은 산화되어 발아에 필요한 에너지를 공급하고 glycerol은 당으로 전환되는 등 다양한 영양성분 및 화학성분이 변한다고 알려져 있다(5). 이에 따라 조, 기장, 수수(6), 메밀(7), 대두(8) 등의 다양한 씨앗에 대한 발아에 따른 화학성분 및 유용성분의 변화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 벼 전곡을 발아시킨 연구는 발아기간에 따른 벼의 화학 성분 변화(9), 부위에 따른 발아벼의 유용 성분 변화(10)에 대한 연구들이 진행 되었다.

고압처리기술은 영양성, 편리성 및 고품질 측면에서 소비자를 충족시킬 수 있는 제품을 개발할 목적으로 사용되고 있으며, 관련 상품이 시장에서 판매되고 있다(11). 고압처리기술은 구조적으로 유연한 식물체 내의 세포 변형, 세포막 손상, 단백질 변성과 같은 변화를 발생시키기 때문에 화학성분 및 유용성분의 용출성 및 용해성을 향상시킬 수 있으며(12), 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(13). 또한 초고압 기술은 식품의 풍미, 향미, 영양성분의 손실없이 소화흡수율이 우수한 제품의 생산이 가능하다는 점에서 유아 및 노인을 비롯한 소화능력이 부족한 소비자를 위해 적합한 처리 공정이라고 할 수 있다(14). 씨앗의 기능성을 향상을 위한 발아공정과 유용성분 추출 및 가수분해효소 활성 증진을 위한 고압처리공정에 대한 연구는 활발하게 진행되고 있으나, 발아와 고압의 병행처리에 따른 벼의 이화학적 특성 및 화학성분 변화에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 벼를 발아시킨 후 30 MPa의 압력 하에서 24시간 동안 고압처리를 실시하고, 발아일수와 고압처리시간에 따른 이화학적 특성을 분석하여 발아벼를 이용한 새로운 기능성소재 및 식품개발의 기초자료를 제공하고자 하였다.

*Corresponding author: Heon Sang Jeong, Department of Food Science and Technology, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea
Tel: 82-43-261-2570
Fax : 82-43-271-4412
E-mail: hsjeong@chungbuk.ac.kr
Received February 10, 2015; revised March 11, 2015; accepted March 12, 2015

재료 및 방법

실험재료 및 발아

본 실험에 사용된 벼는 2011년에 충북 증평군에서 재배 생산된 일반 벼인 일품벼(*Oryza sativa* L. var Ilpumbyeo)를 구매하여 사용하였다. 발아는 Kim 등(9)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 85%를 유지시키면서 발아시켰으며, 물은 1일 1회씩 교환해 주었고, 1일 3회씩 10분간 물주기를 하면서 발아시켰다. 발아기간은 0일에서 6일로 하였다.

가압처리

가압은 냉각수 순환장치가 연결된 기체가압식 압력처리 장치(Non-stirred autoclave system, Ilsin autoclave Inc., Daejeon, Korea)를 이용하였으며, 압력용기 내부의 온도는 발아조건과 동일한 37°C에서 유지되도록 하였다. 0-6일간 발아시킨 벼를 수분과 산소투과성이 적은 알루미늄 호일필름(Newpack, Seoul, Korea)에 10 g 단위로 진공포장한 후 30 MPa의 압력 하에서 24시간 동안 처리 하였으며, 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 냉동보관하여 시료로 사용하였다.

일반성분분석

일반성분은 AOAC법(15)에 따라 분석하였다. 수분함량은 상압가열건조법으로, 조단백질 함량은 semi-micro kjeldahl법으로, 조지방 함량은 soxhlet 추출법으로 그리고 조회분은 550°C에서 건식 회화시켜 정량하였다. 탄수화물은 시료에서 조지방, 조단백질, 조회분 및 수분함량을 뺀 값으로 나타내었다.

유리당 함량 분석

유리당 함량은 Park 등(16)의 방법을 변형하여 측정하였다. 즉, 시료 2 g에 증류수 20 mL를 정용하여 1시간 동안 초음파 추출한 후 10,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 다음 20 mL로 정용하고 0.45 μm syring filter로 여과시킨 것을 HPLC (Alliance 2695, Waters, MA, USA)로 분석하였다. 분석컬럼은 Shodex NH_2P-50 column (4.6×150 mm, Showa Denko, Tokyo, Japan), 검출기는 ELSD (Waters 2420 ELSD, Waters, MA, USA), 이동상은 75% acetonitrile, 유속은 1.5 mL/min, 시료주입량은 10 μL이었다. 표준물질로 glucose, fructose, sucrose 및 maltose (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

아미노산 조성 분석

아미노산의 조성은 Son 등(17)의 방법에 따라 분석하였다. 시료 0.3 g에 5 mL의 6 N HCl을 가하고 N_2 gas로 치환시킨 후 110°C에서 24시간 HCl로 가수분해 후 No. 2 여과지로 여과하여 100 mL volume flask에 옮겨 넣고 Milli-Q water로 정용하였다. 이들 중 분자량이 큰 화합물을 제거시키기 위하여 0.1% TFA (solution I), methanol (80:20, solution II), methanol (70:30, solution I II)으로 Sep-pak C18을 활성화시킨 후 시료용액을 통과시켜 분석시료로 사용하였고, 아미노산의 정량분석은 amino acid auto-analyzer (HitachiL-8800, Hiachi High Technologies, Tokyo, Japan)를 사용하였다.

지방산 조성 분석

지방산 분석은 추출된 조지방 0.5 g에 반응시약(methanol:heptane:bezene:2,2-dimethoxypropane:H_2SO_4=37:36:20:5:2 (v/v)) 2 mL을 넣고 80°C에서 20분간 반응시킨 후 상등액을 질소 농축하여 hexane에 용해시켜 지방산 분석용 시료로 사용하였다(18). 지방산 분석은 gas chromatography (Agilent 6850 GC, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA)를 사용하였고, column은 Varian VF-WaxMS (30 m×300 μm, 0.25 μm, Varian, Palo Alto, CA, USA), 검출기는 flame ionization detector를 사용하였다. 주입구 온도는 250°C, 검출기 온도는 300°C로 하였으며, 오븐 온도는 120°C에서 5분간 유지한 후 분당 10°C씩 230°C까지 올려 20분간 유지하였다. Carrier gas는 N_2 (99.999%)를 사용하였으며, 유속은 1.3 mL/min, 주입량은 1 μL이었고, split ratio는 10:1 비율로 하였다. 표준물질로는 palmitic acid, stearic acid, arachidic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였으며 지방산 조성은 peak area의 상대적인 비로 나타내었다.

통계분석

통계분석은 SPSS 통계프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 12.0 SPSS Inc., Cicago, IL, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 발아기간에 따른 유의차는 one-way analysis of variance (ANOVA)로 분석한 뒤 신뢰구간 $p<0.05$에서 Duncan's multiple range test를 실시하였으며, 고압처리에 따른 유의차는 2-sample student's *t*-test를 실시하였다.

결과 및 고찰

일반성분

발아와 고압처리에 따른 일반성분 함량 변화는 Table 1에서 보는 바와 같이 고압처리 하지 않은 대조구의 경우 조단백질은 발아 0일부터 발아 6일까지 8.21%에서 9.54%으로 증가하였으며, 조지방 함량은 발아 0, 2, 4 및 6일에 각각 2.04, 2.43, 2.59 및 2.74%로 발아기간이 증가할수록 증가하였다. 또한 30 MPa 압력에서 24시간 고압처리 시 조단백질과 조지방 함량은 각각 8.51-9.16% 및 2.27-3.10%의 범위로 대조구에 비해 유의적으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 일품벼 발아 시 조단백질 및 조지방 함량이 유의적으로 증가하고 조회분은 약간의 감소를 보였지만 유의적이지 않았다고 한 Kim 등(9)의 연구와 유사한 결과를 나타내었다. 이처럼 발아와 고압처리에 의해 영양성분이 경시적으로 증가하게 되는 것은 각종 대사에 관여하는 효소들의 활성도가 증가됨에 따라 식물체내에서 다양한 합성 및 분해가 이루어졌기 때문이라 생각된다(13,19).

유리당 함량

발아와 고압처리에 따른 유리당 함량 변화는 Table 2에서 보는 바와 같이 발아와 고압처리에 따라 총 유리당 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 대조구의 경우 1.06-12.63% 범위의 함량을 나타내었지만, 24시간 고압처리 시 1.18-14.30%으로 대조구에 비해 유의적으로 높게 나타났다. Glucose 함량을 살펴보면 대조구는 발아 전에 검출되지 않았지만, 5일간 발아 후에는 5.14%로 증가하였고 6일차에 3.75%로 다소 감소하였다. 또한 고압처리 시 발아 4일차에서 9.55%의 함량을 나타내어 대조구인 발아 5일차(5.14%)에 비해 크게 증가하였다. Fructose는 대조구의 발아 1, 3

Table 1. Changes in proximate compositions of germinated rough rice with high hydrostatic treatment (HPT, 30 MPa, 24 h)

Samples	Germination periods (days)	Proximate compositions (%, d.b.)			
		Crude ash	Crude protein	Crude lipid	Carbohydrate
Control	0	4.65±0.0^{a}	8.21±0.03^{g}	2.04±0.09^{d}	85.10±0.04^{a}***
	1	4.66±0.04^{a}	8.29±0.02^{f}	2.22±0.04^{c}	84.84±0.10^{b}***
	2	4.66±0.03^{a}	8.37±0.02^{e}	2.43±0.07^{b}	84.54±0.02^{c}***
	3	4.69±0.08^{a}*	9.26±0.03^{b}***	2.67±0.01^{a}	83.39±0.11^{d}
	4	4.62±0.07^{a}	9.05±0.02^{d}***	2.59±0.09^{a}	83.74±0.04^{d}
	5	4.60±0.02^{a}	9.10±0.03^{c}	2.65±0.08^{a}	83.65±0.12^{e}***
	6	4.65±0.02^{a}	9.54±0.01^{a}***	2.74±0.14^{a}	83.07±0.12^{f}
HPT	0	4.66±0.04^{a}	8.51±0.06^{c}***	2.27±0.02^{d}*	84.57±0.00^{a}
	1	4.66±0.03^{a}	9.16±0.08^{a}***	2.27±0.03^{d}*	83.91±0.02^{cd}
	2	4.77±0.03^{a}***	8.67±0.02^{b}***	2.78±0.01^{c}*	83.79±0.02^{de}
	3	4.64±0.06^{a}	8.56±0.01^{c}	2.67±0.07^{c}	84.12±0.01^{b}***
	4	4.64±0.01^{a}	8.52±0.07^{c}	2.90±0.09^{b}*	83.93±0.17^{de}*
	5	4.65±0.03^{a}**	9.12±0.09^{a}	3.10±0.00^{a}***	83.13±0.06^{f}
	6	4.72±0.01^{a}***	8.47±0.10^{c}	3.10±0.12^{a}**	83.71±0.23^{e}*

Values are mean±SD of 3 replicates. Different superscripts in the same items indicate a significant difference (p<0.05) among germination periods. *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001; Significantly different by paired t-test, significantly different by students t-test between before and after high hydrostatic pressure treatment.

Table 2. Changes in free sugar contents of germinated rough rice with high hydrostatic pressure treatment (HPT, 30 MPa, 24 h)

Samples	Germination periods (days)	Free sugar contents (%)				
		Fructose	Glucose	Sucrose	Maltose	Total
Control	0	ND	ND	ND	ND	ND
	1	0.50±0.03^{c}***	0.43±0.04^{f}	0.01±0.01^{b}	0.11±0.05^{e}	1.06±0.14^{f}
	2	1.46±0.06^{b}***	2.46±0.08^{e}	0.04±0.01^{b}	2.31±0.05^{d}	6.26±0.19^{e}
	3	2.43±0.01^{a}***	4.74±0.13^{b}	0.10±0.04^{b}	4.70±0.14^{b}	11.98±0.33^{c}
	4	2.41±0.29^{a}***	4.28±0.28^{c}	0.28±0.15^{a}	5.25±0.64^{a}*	12.21±1.36^{b}
	5	2.39±0.03^{a}***	5.14±0.23^{a}	ND	5.10±0.15^{a}***	12.63±0.41^{a}
	6	1.48±0.01^{b}***	3.75±0.27^{d}	ND	3.27±0.14^{c}***	8.50±0.43^{d}
HPT	0	0.14±0.02^{d}	0.30±0.03^{f}***	ND	0.74±0.02^{f}	1.18±0.08^{e}
	1	0.14±0.03^{d}	2.64±0.09^{e}***	ND	1.80±0.25^{e}***	4.58±0.37^{d}***
	2	0.28±0.03^{c}	6.49±0.38^{d}***	ND	2.59±0.10^{d}**	9.36±0.51^{c}***
	3	0.54±0.06^{b}	8.98±0.30^{c}***	ND	4.59±0.08^{a}	14.12±0.44^{a}***
	4	0.93±0.10^{a}	9.55±0.14^{a}***	ND	3.82±0.09^{b}	14.30±0.34^{a}***
	5	0.59±0.04^{b}	9.08±0.34^{bc}***	ND	2.89±0.30^{c}	12.56±0.68^{b}
	6	0.54±0.05^{b}	9.34±0.06^{ab}***	ND	2.51±0.06^{d}	12.39±0.16^{b}***

Values are mean±SD of 3 replicates. Different superscripts in the same items indicate a significant difference (p<0.05) among germination periods. *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001; Significantly different by paired t-test, significantly different by students t-test between before and after high hydrostatic pressure treatment.

및 5일차에 각각 0.50, 2.43 및 2.39%의 함량을 나타내어 발아일수가 증가함에 따라 증가하였지만, 24시간 고압처리 시 0.14-0.93% 범위로 유의적으로 감소하였다. Maltose 또한 fructose와 유사하게 대조구는 발아 일수가 증가함에 따라 발아 5일 까지 증가하는 경향을 나타내었으며, 대조구의 경우 0.11-5.25% 범위 이었지만, 고압처리 시 0.74-3.82% 범위로 대조구에 비해 유의적으로 감소하였다. Sucrose는 대부분의 처리구에서 검출되지 않았으며, 대조구의 발아 초기에 약감 검출 되었지만 발아 전과 후의 차이는 크지 않았다. 이러한 결과는 다양한 맥류의 발아에 따른 화학성분 변화에 대한 Kim 등(20)의 연구에서 발아 전에 비해 발아 후 glucose, fructose 및 maltose의 함량이 증가하였다는 결과와 유사하였으며, 다양한 온도 및 압력조건에 따른 보리맥아의 α-amylase의 활성증대에 대한 Buckow 등(21)의 연구에서 처리압력이 증가함에 따라 α-amylase 활성이 점차적으로 증가한다는 연구 결과로 미루어 볼 때, 발아 및 고압처리 시 α-amylase 등과 같은 효소의 활성도가 증가함에 따라 탄수화물 분해가 촉진되어 maltose 및 glucose와 같은 단당류로 전환되었기 때문이라 생각된다(22).

유리 아미노산 조성

발아와 고압처리에 따른 아미노산 조성 변화를 나타낸 결과는 Table 3과 같이 발아기간이 증가함에 따라 총 아미노산 함량은 증가하였지만 고압처리 시 유사하거나 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 대조구의 경우 발아가 진행됨에 따라 0, 2, 4 및 6일차에서 각각 15.16, 16.33, 20.12 및 24.09 mg/g로 증가하였지만, 고압처리 시 발아기간에 따라 14.73-21.87 mg/g 범위에서 감소하였다. 그러나 Leu, Ile, Val, Thr, Lys, Met, Phe, Tyr 및 His 등

Table 3. Changes in amino acid contents of germinated rough rice with high hydrostatic pressure treatment (HPT, 30 MPa, 24 h)

Samples	Germination periods (days)	Amino acid contents (%)		
		Essential amino acid	Non-essential amino acid	Total amino acid
Control	0	0.45±0.02^{g}	14.71±0.05^{b}***	15.16±0.07^{d}*
	1	0.94±0.02^{f}	16.68±0.49^{ab}**	17.62±0.51^{bc}
	2	1.34±0.04^{e}	14.99±2.18^{b}	16.33±2.22^{cd}
	3	1.86±0.02^{d}	16.90±0.14^{ab}	18.75±0.16^{bc}
	4	2.76±0.21^{c}	17.36±0.24^{ab}***	20.12±0.45^{b}***
	5	4.36±0.12^{b}	19.28±1.59^{a}**	23.64±1.71^{a}**
	6	5.09±0.04^{a}	19.00±2.77^{a}*	24.09±2.73^{a}*
HPT	0	1.57±0.05^{d}***	13.17±0.08^{c}	14.73±0.13^{f}
	1	2.12±0.00^{c}***	15.29±0.02^{b}	17.41±0.02^{e}
	2	4.08±0.03^{b}***	15.45±2.32^{b}	19.53±2.36^{cd}*
	3	5.09±0.22^{a}***	18.15±0.09^{a}***	23.25±0.31^{a}***
	4	5.34±0.32^{a}***	12.49±0.79^{c}	17.84±0.47^{de}
	5	5.22±0.10^{a}***	15.42±0.76^{b}	20.65±0.86^{bc}
	6	5.30±0.06^{a}***	16.57±1.50^{ab}	21.87±1.43^{ab}

Values are mean±SD of 3 replicates. Different superscripts in the same items indicate a significant difference (p<0.05) among germination periods. *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001; Significantly different by paired t-test, significantly different by students t-test between before and after high hydrostatic pressure treatment.

Table 4. Changes in fatty acid compositions of germinated rough rice with high hydrostatic pressure treatment (HPT, 30 MPa, 24 h)

Samples	Germination periods (days)	Fatty acid compositions (%)					
		Palmitic (C16:0)	Stearic (C18:0)	Oleic (C18:1)	Linoleic (C18:2)	Linolenic (C18:3)	Arachidic (C20:0)
Control	0	23.01±0.06^{a}***	2.43±0.02^{b}***	48.19±0.13^{f}***	24.82±0.03^{f}	0.73±0.01^{e}	0.83±0.03^{a}***
	1	20.02±0.08^{b}	2.36±0.01^{cd}***	41.37±0.12^{e}***	34.09±0.07^{e}	1.47±0.01^{d}	0.69±0.02^{b}***
	2	18.48±0.02^{e}	2.18±0.00^{f}	41.82±0.01^{b}***	35.16±0.01^{b}	1.65±0.00^{b}***	0.70±0.00^{b}***
	3	18.82±0.01^{d}	2.34±0.00^{de}	41.85±0.01^{cd}***	34.68±0.01^{cd}	1.59±0.00^{c}	0.72±0.01^{b}***
	4	18.36±0.37^{e}	2.32±0.05^{e}	42.06±1.15^{bc}***	34.92±0.69^{bc}	1.64±0.03^{b}	0.71±0.02^{b}***
	5	19.25±0.09^{c}	2.39±0.00^{bc}	40.20±0.05^{a}***	35.70±0.04^{a}***	1.76±0.00^{a*}	0.70±0.01^{c}***
	6	20.08±0.07^{b}	2.81±0.00^{a}	40.47±0.03^{de}***	34.25±0.05^{de}***	1.66±0.00^{b}***	0.73±0.01^{c}***
HPT	0	19.80±0.02^{g}	2.29±0.01^{d}	41.25±0.05^{a}	34.55±0.03^{d}***	1.44±0.00^{g}***	0.67±0.00^{ab}
	1	20.48±0.02^{f}***	2.27±0.00^{e}	40.05±0.01^{b}	35.03±0.02^{b}***	1.52±0.00^{f}***	0.65±0.01^{cd}
	2	21.52±0.14^{e}***	2.22±0.01^{f}***	38.95±0.06^{c}	35.13±0.08^{a}	1.53±0.00^{e}	0.65±0.01^{d}
	3	22.40±0.01^{d}***	2.44±0.00^{c}	38.16±0.00^{e}	34.78±0.01^{c}	1.56±0.00^{d}	0.66±0.00^{bc}
	4	22.82±0.01^{b}***	2.59±0.00^{b}***	38.21±0.01^{e}	34.10±0.00^{e}	1.60±0.00^{b}	0.69±0.01^{a}
	5	23.24±0.02^{a}***	2.60±0.01^{b}***	36.82±0.02^{f}	35.00±0.02^{b}	1.71±0.00^{a}	0.64±0.01^{d}
	6	22.70±0.00^{c}***	2.80±0.00^{a}	38.44±0.01^{d}	33.79±0.01^{f}	1.58±0.00^{c}	0.68±0.00^{a}

Values are mean±SD of 3 replicates. Different superscripts in the same items indicate a significant difference (p<0.05) among germination periods. *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001; Significantly different by paired t-test, significantly different by students t-test between before and after high hydrostatic pressure treatment.

의 필수아미노산의 경우 24시간 동안 고압처리 시 1.57-5.34 mg/g으로 대조구의 0.45-5.09 mg/g에 비해 증가하는 경향을 보였다. 특히 발아초기에 고압처리를 하였을 때 대조구의 경우 발아 1일, 2일 및 3일에서는 각각 0.94, 1.34 및 1.86 mg/g으로 나타났지만, 고압처리구의 경우 발아 1일, 2일 및 3일에서 각각 2.12, 4.08, 5.09 mg/g으로 나타나 동일한 처리시간이 경과하였을 때 대조구에 비해 고압처리를 하였을 때 필수 아미노산의 함량이 유의적으로 증가하였다. 발아가 진행됨에 따라 총 아미노산 및 필수아미노산의 증가는 Jung 등(23)의 연구에서 72시간 동안 혐기적 조건하에서 발아시킨 발아벼의 유리아미노산 함량이 증가하였다는 결과와 유사하였으며, 발아된 곡물은 가수분해 효소가 활성화 되고 전분과 비전분다당류, 단백질 등을 분해시키기 때문에 protease의 활성 증대에 따라 유리아미노산 함량이 증가한 것으로 판단된다. 또한 고압처리공정에 따른 침지콩의 아미노산 조성 변화에 대한 Ueno 등(24)의 연구에 의하면, Val, Ley, Ile, Thr, Pro, Asp, Met, Phe, Lys, His, Tyr 및 GABA등의 특정 아미노산이 고압처리에 의하여 증가되었으며, 고압처리공정은 식물체의 단백질 대사의 두 가지 유형의 변화를 유도하여, 단백질 가수분해 효소 활성의 증대는 특정 아미노산의 함량을 증가시키지만, 아미노산 대사의 변화는 몇몇 아미노산의 농도를 감소시킨다고 하였다(25). 본 연구결과 발아 및 고압처리에 의한 필수아미노산의 증가는 곡물의 풍미를 증가사킬 뿐만 아니라, 영양성분 및 기능성 아미노산의 흡수율 증대의 원인이 될 것이라고 생각된다.

지방산 조성

발아와 고압처리에 따른 지방산 조성 변화는 Table 4와 같다. 발아와 고압처리에 따라 지방산의 조성이 유의적으로 변화하였으나, 모든 처리구에서 포화지방산보다는 불포화지방산의 비율이 높게 나타났으며, palmitic acid, oleic acid 및 linoleic acid가 주요 지방산으로 90% 이상의 비율을 차지하였고 stearic acid, arachidic acid 및 linolenic acid의 함량은 0.64% 부터 2.81%로 적은 함량을 나타내었다. 이러한 결과는 발아기간에 따른 일품벼의 화학성분 변화에 대한 Kim 등(9)의 연구에서 발아기간에 상관없이 palmitic acid, oleic acid 및 linoleic acid가 지방산 조성의 95% 이상을 차지하였다는 결과와 유사하였다. 포화지방산의 경우 상대적으로 분자량이 높은 arachidic acid는 고압처리 시 0.64-0.69% 범위로 대조구의 0.70-0.83%에 비해 감소하였지만, palmitic acid와 stearic acid는 고압처리 시 유의적인 차이가 없었다. 또한 불포화 지방산조성의 변화를 살펴보면, oleic acid는 발아와 고압처리에 의해 감소하여 대조구의 경우 40.20-48.19% 범위로 나타났지만, 고압처리 시 36.82-41.25% 범위로 대조구의 비해 유의적으로 감소하였다. 필수 지방산 중 하나인 linoleic acid는 발아와 고압처리에 의해 유의적으로 증가하였는데 대조구 0, 2, 4, 및 6일차에서 각각 24.82, 35.16, 34.92 및 34.25%이었던 것이 고압처리 시 34.55-35.13% 범위로 대조구에 비하여 증가하는 경향을 보였다. Linolenic acid는 0.73%부터 1.76%로 낮은 범위로 검출되었으며, 발아 및 고압처리에 의한 변화는 크지 않았다. 최근 서구화된 식생활에서 비롯된 에너지와 지질 섭취의 증가로 인하여 고혈압, 뇌혈관질환, 동맥경화 등의 심혈관계 질환 발병률이 급증하고 있는데, α-linolenic acid를 비롯한 ω3 고도불포화지방산(poly unsaturated fatty acid: PUFA)과 리놀레산 등의 ω6계 지방산은 혈청 콜레스테롤, 중성지질 및 LDL-cholesterol을 저하시켜 심혈관계 질환을 예방하는 것으로 알려져 있어, ω3 및 ω6 계열의 성분이 포함되어 있는 양질의 지질 섭취가 장려되고 있다(26). 발아기간에 따른 벼의 지방산 조성의 변화를 살펴보았던 Kim 등(27)의 연구에 따르면, 발아 2일째 linoleic acid 함량이 증가되었으며, 발아가 계속 진행됨에 따라 유리지방산의 조성비는 소폭의 증감을 반복하며 변화하였다. 또한 콩의 발아에 따른 ω-3 desaturase 유전자 발현과 지방산 조성의 관계에 대한 Lagunas 등(28)의 연구에서 소포체와 색소체의 desaturase 유전자가 발현됨에 따라 linoleic acid 함량이 유의적으로 증가하였다는 연구결과로 미루어 볼 때, 본 연구결과 발아와 고압처리에 의한 지방산 불포화도의 증가는 이중결합 도입반응을 실행하는 말단효소와 그 말단효소에 NAD(P)H에서의 전자전달을 하는 효소로 구성되는 다효소 복합체인 desaturase (불포화효소) 활성 증대에서 기인한 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 발아와 고압처리 시간에 따른 발아벼의 일반성분, 유리당, 유리아미노산 조성 및 지방산 조성을 분석하여 화학성분 변화에 미치는 고압처리의 효과에 대해 연구하였다. 조단백질과 조지방 함량은 30 MPa 압력에서 24시간 고압처리 시 발아 일수에 따라 각각 8.39-9.59% 범위로 대조구에 비해 증가하였다. 유리당 함량은 발아와 고압처리에 의해 총 유리당 함량과 glucose 함량은 증가하였으나 maltose와 fructose 함량은 감소하였다. 총 아미노산 함량은 고압처리에 의해 유의적인 차이를 나타내지 않았지만 필수아미노산 함량은 고압처리 시 1.57-5.34 mg/g 범위로 대조구인 0.45-5.09 mg/g에 비해 증가하였다. 주요 지방산은 oleic acid와 linoleic acid가 가장 많았으며, 특이적으로 linoleic acid가 발아 및 고압처리에 의해 유의적으로 증가하였다. 본 연구결과 발아와 고압의 병행처리 시 발아벼의 영양성분이 저분자화 되고 필수영양성분이 증가함을 알 수 있었으며, 이러한 결과는 고부가가치의 식품소재 개발을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

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

References

1. Kwak TS, Yeo JH. Varietal variation of ripening and physicochemical properties in different rice ecotypes. Korean J. Int. Agric. 16: 130-135 (2004)
2. Woo KM, Lee YS, Kim YH. Antioxidant effects of tocotrienol in rice bran. Korean J. Crop Sci. 50: 4-7 (2005)
3. Lee JC, Kim JH, Nam KC, Ahn DU. Antioxidant properties of far infrared treated rice hull extract in irradiated raw and cooked turkey breast. J. Food Sci. 68: 1904-1909 (2003)
4. Ko SC, Kim BK, Lee KS, Choi WY, Choi HR, Cho EA, Yun SJ. Varietal difference in enzyme activities during preharvest germination of rice. Korean J. Crop Sci. 50: 378-383 (2005)
5. Wang WQ, Moller IM, Song SQ. Proteomic analysis of embryonic axis of *Pisum sativum* seeds during germination and identification of proteins associated with loss of desiccation tolerance. J. Proteomics 77: 68-86 (2012)
6. Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Seo MC, Oh BG, Kwak DY, Nam MH, Jeong HS, Woo KS. Changes in chemical components of foxtail millet, proso millet, and sorghum with germination. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 1128-1135 (2011)
7. Lee EH, Kim CJ. Nutritional changes of buckwheat during germination. J. Korean Soc. Food Cult. 23: 121-129 (2008)
8. Kim JS, Kim JG, Kim WJ. Changes in isoflavone and oligosaccharides of soybeans during germination. Korean J. Food Sci. Technol. 36: 294-298 (2004)
9. Kim HY, Hwang IG, Kim TM, Park DS, Kim JH, Kim DJ, Lee YR, Lee JS, Jeong HS. Changes in chemical composition of rough rice (*Oryza sativa* L.) according to germination period. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 40: 1265-1270 (2011)
10. Kim HY, Hwang IG, Kim TM, Woo KS, Park DS, Kim JH, Kim DJ, Lee JS, Lee YR, Jeong HS. Chemical and functional components in different parts of rough rice (*Oryza sativa* L.) before and after germination. Food Chem. 134: 288-293 (2012)
11. Kim CT. High pressure technology for food-application and prospect as green technology. Bull. Food Technol. 22: 321-330 (2009)
12. San Martin MF, Barbosa-canovas GV, Swanson BG. Food processing by high hydrostatic pressure. Crit. Rev. Food Sci. 42: 627-645 (2002)
13. Northrop DB. Effects of high pressure on enzymatic activity. Biochim. Biophys. Acta 1595: 71-79 (2002)
14. Kwon SM, Kim CM, Kim YH. Biological characteristics of instant rice treated with high hydrostatic pressure. Food Sci. Ind. 40: 31-35 (2007)
15. AOAC. Official methods of analysis. 16th ed. methods 777.780.788. Association of Official Agricultural Chemists, WA, USA. pp. 31 (1990)
16. Park HJ, Lee SH, Kim HY, Jang GY, Hwang IG, Woo KS, Kwon OS, Lee JS, Jeong HS. Changes in chemical components and antioxidant activity of dried jujube with different aging temperatures and durations. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41: 591-597 (2012)
17. Son BY, Kim JT, Lee JS, Baek SB, Kim SL, Ku JH, Hwang JJ, Cha SM, Kwon YU. Chemical composition of seed from inbred lines and hybrids of maize recently developed in Korea. Korean J. Crop Sci. 57: 188-194 (2012)

18. Park PW, Goins RE. *In situ* preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. J. Food Sci. 59: 1262-1266 (1994)
19. Kim WJ, Kim NM, Sung HS. Effect of germination of phytic acid soluble minerals in soymilk. Korean J. Food Sci. Technol. 16: 358-362 (1984)
20. Kim HY, Hwang IG, Woo KS, Kim KH, Kim KJ, Lee CK, Lee JS, Jeong HS. Chemical components changes of winter cereal crops with germination. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 39: 1700-1704 (2010)
21. Buckow R, Weiss U, Heinz V, Knorr D. Stability and catalytic activity of alpha-amylase from barley malt at different pressure-temperature conditions. Biotechnol. Bioeng. 97: 1-11 (2007)
22. Kim JY. Changes in chemical components of Korean rough rice during germination. MS thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea (2008)
23. Jung GH, Park NY, Jang SM, Lee JB, Jeong YJ. Effects of germination in brown rice by addition chitosan/glutamic acid. Korean J. Food Preserv. 11: 538-543 (2004)
24. Ueno S, Shigematsu T, Watanabe T, Nakajima K, Murakami M, Hayashi M, Fujii T. Generation of free amino acids and aminobutyric acid in water-soaked soybean by high-hydrostatic pressure processing. J. Agr. Food Chem. 58: 1208-1213 (2010)
25. Molina E, Defaye AB, Ledward DA. Soy protein pressure induced gels. Food Hydrocolloid. 16: 625-632 (2002)
26. Kwak JE, Yoon SW, Kim DJ, Yoon MR, Lee JH, Oh SK, Kim IH, Lee JS, Lee JS, Chang JK. Changes in nutraceutical lipid constituents of pre- and post-germinated brown rice oil. Korean J. Food Nutr. 26: 591-600 (2013)
27. Kim SL, Son YK, Son JR, Hur HS. Effects of germination condition and drying methods in physicochemical properties of sprouted brown rice. Korean J. Crop Sci. 46: 221-228 (2001)
28. Lagunas B, Román Á, Andreu V, Picorel R, Alfonso M. A temporal regulatory mechanism controls the different contribution of endoplasmic reticulum and plastidial x-3 desaturases to trienoic fatty acid content during leaf development in soybean (*Glycine max* cv Volania). Phytochemistry 95: 158-167 (2013)