

## 가열조리가 프로비타민 A 강화 쌀의 영양성분에 미치는 영향

이영택\* · 김미현 · 임지순<sup>1</sup> · 김재광<sup>2</sup> · 하선화<sup>2</sup> · 이시명<sup>2</sup> · 권순중<sup>2</sup> · 서석철<sup>2</sup>

경원대학교 식품생물공학과, <sup>1</sup>전양대학교 식품생명공학과, <sup>2</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업생명자원부

### Influence of Cooking on Nutrient Composition in Provitamin A- Biofortified Rice

Young-Tack Lee\*, Mi-Hyun Kim, Ji-Soon Im<sup>1</sup>, Jae-Kwang Kim<sup>2</sup>, Sun-Hwa Ha<sup>2</sup>,  
Si-Myung Lee<sup>2</sup>, Soon-Jong Kweon<sup>2</sup>, and Seok-Chul Suh<sup>2</sup>

Department of Food Science and Biotechnology, Kyungwon University

<sup>1</sup>Department of Food Science and Biotechnology, Konyang University

<sup>2</sup>National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration

**Abstract** This study was conducted to investigate the effects of different cooking methods on the nutrient composition of genetically modified (GM) provitamin A(PA)-biofortified rice. PA-biofortified rice was subjected to different cooking methods, namely boiling and a soaking, steaming and roasting process. The proximate components (starch, protein, lipid and ash) of raw PA-biofortified rice were similar to those found in the parental non-GM rice, and were not significantly affected by a conventional boiling treatment. When compared with raw rice, boiled PA-biofortified rice showed a similar nutrient composition, despite a slight reduction in a majority of its amino acid contents. However, the PA-biofortified rice that underwent the soaking/steaming/roasting process exhibited a significant reduction in a majority of its amino acids and mineral contents. This procedure also led to a significant reduction in carotenoid contents. The overall results of this study demonstrate that using a conventional boiling method for PA-biofortified rice retains nutrients better than a soaking/steaming/roasting method.

**Keywords:** genetically modified (GM), provitamin A-biofortified rice, cooking, nutrient composition, carotenoids

## 서 론

최근 생명공학기술의 발전으로 어떠한 유용한 유전자를 다른 생물체에 삽입함으로써 형질전환시킨 유전자변형생물체(GMO)들이 다양하게 개발되고 있다. 유전자변형(Genetically Modified, GM) 작물은 콩, 옥수수, 목화, 유채 등 주요 작물들이 제초제, 해충, 병 저항성을 지니도록 개발되어 1990년 중반부터 상업적으로 이용되기 시작되면서 인구증가에 따른 식량부족, 지구 기후 및 환경의 변화, 그리고 농경지 및 생산성 감소 등의 문제점을 해결하는 방안으로 인식되고 있다(1). 현재 국내에서도 다양한 종의 유용 GM작물들이 개발되고 있으며 안전성 평가를 통해 상업화를 위한 단계를 준비중에 있다(2).

쌀은 전 세계 인구의 반 이상이 주식으로 이용하고 아시아 국가에서 전체 식품 에너지 공급량의 30% 이상을 차지하는 매우 중요한 작물이다. 쌀은 일반적으로 도정과정을 거쳐 백미로 가공하여 이용되는데 이때 백미에는 비타민, 무기질 등 영양소가 감

소하게 된다(3). 쌀의 생체내 영양강화에 의한 품종 개발 및 품질향상을 목적으로 유전자재조합기술이 이용되고 있으며(4), 쌀 배유에 프로비타민 A인 베타-카로틴( $\beta$ -carotene)을 생합성하도록 형질전환시킨 황금쌀(golden rice)이 개발되었다(5-7). 국내에서도 고추(*Capsicum*) 카로티노이드(carotenoid) 대사관련 유전자를 쌀의 배유부위에 발현시켜 노란 황금색을 띠는 카로티노이드 생합성 쌀을 개발하였다(8). 황금쌀의 카로티노이드 물질은 비타민 A 전구체로서 이용되어 비타민 A 결핍증을 감소시킬 수 있으며(9), 그 항산화 효과로 인해 인체의 노화방지, 항암 효과 등 생리적 기능성을 부여해 줄 수 있다(10,11).

일반적으로 GM식품의 안전성은 그의 모종(traditional counterpart)과 성분을 비교 평가하여 그만큼 안전하다는 것을 확인하는 것을 목표로 하는 실질적 동등성(substantial equivalence)에 의한 안전성 평가가 이루어 진다(12). 실질적 동등성에 의한 안전성 평가로 주요 및 미량 영양성분 함량이 분석되어야 하며 실질적 동등성에 차이가 있을 경우 독성, 알레르기 유발 가능성 등을 평가할 필요가 있다(13). 유전자변형 쌀의 식품 안전성 평가의 일환으로 유전자변형 쌀이 모종과 주요 영양성분 조성에 차이가 있는지 조사되었으며(14), 실험동물에서 유전자변형 쌀의 급여에 의한 영양학적 특성이 검토된 바 있다(15). 그리고 유전자변형 쌀은 열처리 가공처리에 따른 영양성분의 변화가 고려되어야 하는데(12) 조리나 가공 후에 주요 영양소의 함량변화 및 생체이용률 등에 변화가 일어날 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 국내에서 개발된 유전자변형 프로비타민 A 강

\*Corresponding author: Young-Tack Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Kyungwon University, Seongnam, Gyeonggi 461-701, Korea  
Tel: 82-31-750-5565  
Fax: 82-31-750-5273  
E-mail: ytleee@kyungwon.ac.kr

Received February 21, 2011; revised October 26, 2011; accepted November 2, 2011

화 벼로부터 얻은 쌀을 가열조리에 의해 가공처리 했을 때 주요 영양성분 조성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

실험에 사용한 벼 시료는 모 품종인 낙동 벼와 수원과 균위에서 2009년 재배한 유전자변형 프로비타민 A(PA) 강화 벼로서 농촌진흥청 국립농업과학원 생물안전성과로부터 제공받아 사용하였다. 냉장보관한 벼를 제현기(Satake Engineering Co, Tokyo, Japan)로 처리하여 왕겨를 분리하고 현미를 제조하였으며, 이 현미를 도정기(Fujihara Factory, Tokyo, Japan)로 도정하여 백미를 제조하였다.

### 가열조리

쌀 시료의 가열조리로 열탕(boiling)에 의한 일반적인 취반 방법과 수침후 증자/볶음처리 절차에 의한 방법을 사용하였다. 열탕처리로 쌀 시료를 뚜껑이 있는 알루미늄 용기(61 mm i.d×36 mm)에 넣고 가수율을 1.4로 조절하여 증류수를 첨가한 후 1,500 mL의 증류수가 담긴 자동전기밥솥내의 금속철망위에서 30분간 취반하였으며 15분간 뜸을 들인 후 실온에서 냉각하였다. 취반 후 밥은 동결건조기(FD-5508, Iishinlab, Yangju, Korea)에서 2일간 동결건조하였다. 증자/볶음처리로는 우선 쌀 시료에 10배량의 증류수를 첨가하여 실온에서 6시간 수침시켜 호화에 필요한 수분을 충분히 흡수하도록 하였다. 수침 후 쌀 시료를 30분간 증자 처리하였고 45°C 열풍건조기에서 건조한 다음 200°C로 조절한 볶음기(Taehwan Automatic Industry, Seoul, Korea)에서 12분간 볶음처리 하였다. 가열조리한 각각의 쌀 시료는 Cyclotec sample mill(Tecator, Hoganas, Sweden)을 사용하여 분쇄하여 분석 시료로 사용하였다.

### 일반성분 분석

쌀 시료의 수분, 조단백, 조지방, 회분 및 전분 함량은 각각 AACC 방법(16) 44-15A, 46-13, 30-10, 76-1, 76-11에 의해 분석하였다.

### 지방산 분석

쌀 시료로부터 추출한 총 지질 20 mg을 취하여 0.5 N NaOH/methanol 2 mL을 넣어 heating block(100°C)에서 약 5분간 가수분해 시켰다. 이를 냉각한 후 14% BF<sub>3</sub>/methanol 2 mL을 넣고 5분간 methylation 반응시킨 다음 이소옥탄 2 mL을 넣어 진탕하였다. 반응이 끝나면 시료가 든 튜브에 포화식염수 3 mL을 넣고 5초간 가볍게 흔들어준 후 얻어진 이소옥탄층을 무수 황산나트륨(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 가하여 탈수시켰다. 탈수된 지방산 메틸 에스테르 시험액을 gas chromatography(Hewlett-Packard 6890 series, Palo Alto, CA, USA)에 주입하여 분석하였다. 이때 분석조건으로 column은 HP-FFAP(30 m ×0.25 μm)를 사용하여 column 초기온도 100°C에서 2분간 유지시키고 4°C/min의 속도로 230°C까지 승온시킨 후 230°C에서 20분간 유지하였다. 주입구 온도는 230°C, 검출기는 FID (Flame Ionized Detector, 250°C), 그리고 운반기체는 He(1.5 mL/min)를 사용하였다.

### 아미노산 분석

쌀 시료 약 0.3 g에 15 mL 6 N HCl을 가한 다음 N<sub>2</sub> 가스로 치환하여 신속하게 밀봉한 상태로 105°C에서 24시간 가수분해시켰

다. 이를 방냉하여 탈이온수로 50 mL로 정용한 후 0.2 μm membrane filter로 여과하였다. 여액 2 mL를 취해 25 mL로 정용한 후 이를 AccQ-Tag 방법(17)으로 유도체화시킨 다음 아미노산 분석기를 이용하여 아미노산을 분석하였다. 이때 column은 Nova-Pak C<sub>18</sub>(3.9×150 mm, Waters Co., Milford, MA, USA)을 사용하였으며, 주입량은 10 μL, column 온도는 30°C, 검출기는 fluorescence(Ex: 250 nm, Em: 395 nm), 이동상은 0.14 M sodium acetate(A), 60% acetonitrile(B)를 사용하여 gradient법으로 분석하였다.

### 무기질 분석

쌀 시료 1 g을 회분 도가니에 취해 넣고 전열기 위에서 예열한 다음 450°C 회화로에서 회백색이 될 때까지 회화시켰다. 회화된 시료에 증류수 10방울을 떨어뜨린 후 묽은 질산용액(질산:증류수=1:1, v/v) 3 mL를 가하여 열판에서 가열하여 질산을 휘발시켜 완전하게 건조시켰다. 이를 450°C 전기회화로에서 1시간 동안 회화시킨 다음 방냉하고 다시 도가니에 묽은 염산용액(염산:증류수=1:1, v/v) 10 mL를 천천히 가하여 회화된 시료를 완전하게 용해시켰다. HPLC용 증류수를 이용하여 50 mL로 정용하고 무회분 여과지로 여과한 여액을 ICP-AES(Horiba Jobin-Yvon, Activa, France)에 주입하여 분석하였다.

### 카로티노이드 분석

쌀 시료 0.6 g을 취해 에탄올 3 mL를 가하여 water bath에서 5분간 추출한 다음 80% KOH 0.2 mL를 가한 후 water bath에서 10분간 비누화 반응시켰다. 여기에 cold water 1.5 mL와 hexane 1.5 mL를 넣고 vortex하여 카로티노이드를 추출한 후 원심분리하여 상등액(hexane 층)을 분리하였다. 다시 hexane 1.5 mL를 넣고 원심분리하여 상등액을 분리하는 작업을 2회 반복하여 얻은 hexane 층(4.5 mL)을 질소로 증발시킨 후 dichloromethane:methanol(50:50, v/v) 250 μL에 용해시켜 분석용 시험용액으로 하였다. 카로티노이드 분석에 사용된 기기는 HPLC(Shizadzu, Kyoto, Japan)였으며 PDA detector(450 nm)를 사용하여 검출하였다. Column은 YMC column(C<sub>30</sub>, 250 mm×4.6 mm i.d., 3 μm particle size)을 사용하였다. HPLC의 이동상은 92% methanol with 10 mM ammonium acetate(A), 100% methyl tert-butyl ether(B)를 사용하여 gradient법으로 분석하였으며 이동상은 1.0 mL/min의 속도로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 프로비타민 A 강화 쌀의 일반성분

국내에서 개발하여 본 실험에 사용한 프로비타민 A 강화 벼와 모 품종 벼인 낙동 벼로부터 얻은 현미와 백미의 일반성분을 분석하였다(Table 1). 프로비타민 A 강화 현미는 전분 66.41%, 조단백 7.91%, 조지방 1.81%, 조회분 1.36%였으며 이는 낙동 벼 현미에 비해 전분, 조지방 함량은 약간 낮고 조단백 함량은 약간 높은 것으로 분석되었다. 프로비타민 A 강화 벼 백미의 경우 전분 71.69%, 조단백 7.48%, 조지방 0.57%, 조회분 0.45%로 현미에 비해 전분 함량이 증가한 반면 조단백, 조지방, 조회분 함량은 다소 감소하였으며 낙동 벼 백미와는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 쌀은 품종 및 환경적인 요인에 따라 일반성분의 함량에 차이가 있으며 현미는 단백질 6.2-9.1%, 조지방 1.6-2.8, 조회분 1.2-1.5% 범위이고 백미는 단백질 5.0-8.8%, 조지방 0.4-1.3%, 조회분 0.3-0.9% 범위로 보고한 결과(18,19)와 비교했을 때 본 실험의 프로비타민 A 강화 GM 쌀은 국내산 일반 쌀의 일반성분 함량 범위에 있는 것으로 조사되었다.

**Table 1. Proximate compositions (% , d.b.) of PA<sup>1)</sup>-biofortified rice and parental rice<sup>2)</sup>**

Component	Milled rice		Brown rice	
	PA-biofortified	Parental	PA-biofortified	Parental
Moisture	11.71	11.30	11.50	11.63
Starch	71.69	73.06	66.41	68.78
Crude protein <sup>3)</sup>	7.48	6.76	7.91	7.36
Crude lipid	0.57	0.56	1.81	2.60
Crude ash	0.45	0.40	1.36	1.19

<sup>1)</sup>Provitamin A<sup>2)</sup>Values are means of triplicate analyses.<sup>3)</sup>Nitrogen×5.95

쌀은 일반적으로 향미와 전분소화성이 향상되도록 적당한 물을 가하여 가열조리하는 밥 형태로 섭취되고 있으며 밥 뿐만 아니라 곡물을 볶아 가루로 만든 미숫가루나 전식 등의 다양한 형태로도 가공하여 섭취할 수 있다. 가열조리 방법에 따른 프로비타민 A 강화 벼와 낙동 벼 백미의 일반성분을 분석한 결과는 Table 2에 나타나 있다. 열탕에 의해 밥 형태로 가열처리한 프로비타민 A 강화 쌀과 낙동 쌀은 원곡 쌀과 전분, 조단백, 조지방 및 조회분 함량에 별 차이가 없었다. 그러나 증자 및 볶음처리하여 조리 가공한 프로비타민 A 강화 쌀의 경우 전분, 조지방, 조회분 함량이 다소 감소하는 추세를 나타내었다.

#### 가열조리에 따른 프로비타민 A 강화 쌀의 지방산 조성

프로비타민 A 강화 벼와 낙동 벼 백미 시료의 총 지질을 추출하여 gas chromatography로 지방산을 분리하여 분석한 지방산 조성은 Table 3에 나타나 있다. 쌀에 함유된 지방산의 조성은 프로비타민 A 강화 쌀과 낙동 쌀 모두에서 linoleic acid와 oleic acid가 가장 높은 수준이었으며 palmitic acid까지 포함한 3종의 지방산이 전체의 94% 이상으로 거의 대부분을 차지하였다. 프로비타민 A 강화 쌀에서 포화지방산인 palmitic acid가 18.4%로 전체 포화지방산(22.1%)의 대부분을 차지하고 있으며, oleic acid와 linoleic acid가 각각 33.5%, 42.2%로 총불포화지방산(77.9%) 중 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. 나머지 지방산으로 stearic acid, linolenic acid 순(3-4%)으로 조성되었으며 그 외에도 myristic, palmitoleic, arachidic, gadoleic, behenic, lignoceric acid가 소량 함유되어 있었다. 프로비타민 A 강화 벼와 낙동벼 백미의 전체적인 지방산 조성은 유사한 것으로 나타났다. 가열조리 방법에 따른 프로비타민 A 강화 쌀의 지방산 조성은 원곡 쌀과 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 쌀은 취반에 따라 지방산 조성이 영향을 크게 받지 않다고 보고한 결과(20)와 유사하였다.

**Table 3. Fatty acid compositions (% , d.b.) of PA<sup>1)</sup>-biofortified rice influenced by cooking<sup>2)</sup>**

Fatty acid (% , d.b.)	Parental rice	PA-biofortified rice		
		Raw	Boiling	Steaming/roasting
Myristic acid (C14:0)	0.6	0.5	0.5	0.5
Palmitic acid (C16:0)	18.9	18.4	17.8	18.9
Palmitoleic acid (C16:1)	0.1	0.2	0.2	0.2
Stearic acid (C18:0)	1.8	2.0	1.9	2.0
Oleic acid (C18:1)	31.6	33.5	33.7	32.9
Linoleic acid (C18:2)	43.8	42.2	43.0	42.5
Linolenic acid (C18:3)	1.6	1.6	1.6	1.5
Arachidic acid (C20:0)	0.5	0.5	0.5	0.5
Gadoleic acid (C20:1)	0.4	0.4	0.3	0.3
Behenic acid (C22:0)	0.2	0.2	0.2	0.2
Lignoceric acid (C24:0)	0.5	0.5	0.3	0.3
SFA <sup>3)</sup>	22.5	22.1	21.2	22.4
USFA <sup>4)</sup>	77.5	77.9	78.8	77.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

<sup>1)</sup>Provitamin A<sup>2)</sup>Values are means of duplicate analyses.<sup>3)</sup>SFA: saturated fatty acid<sup>4)</sup>USFA: unsaturated fatty acid

#### 가열조리에 따른 프로비타민 A 강화 쌀의 아미노산 조성

프로비타민 A 강화 쌀 백미의 가열조리에 따라 쌀에 함유된 아미노산 함량을 분석한 결과는 Table 4에 나타나 있다. 프로비타민 A 강화 쌀 원곡에 함유되어 있는 아미노산 함량은 glutamic acid가 1,454 mg%로 가장 높았으며 Asp(723 mg%), Leu(666 mg%), Arg(598 mg%), Val(454 mg%), Ala(437 mg%), Phe(426 mg%), Ser(393 mg%) 순으로 나타났다. 전체적으로 프로비타민 A 강화 쌀에 함유된 아미노산의 함량은 glutamic acid, aspartic acid와 같은 산성아미노산의 함량이 높게 나타났고 leucine, arginine, valine, alanine, phenylalanine의 순이었으며 cystein, tyrosine, methionine은 낮은 수준으로 포함되어 있었다. 프로비타민 A 강화 쌀은 낙동 쌀에 비해 모든 아미노산의 함량이 약간 높아 프로비타민 A 강화 쌀의 총 아미노산 함량이 7.23 g/100 g으로, 낙동 쌀의 6.60 g/100 g 보다 높게 분석되었으며 이는 조단백질 함량의 분석결과와 일치하였다. 비타민 A 강화 벼는 모종 벼에 비해 단백질 함량이 약간 높았으며(14) GM작물의 아미노산 및 단백질 함량은 작물의 종류에 따라 모종에 비해 약간의 증감의 차이를 보인다(21,22) 하였다.

**Table 2. Proximate compositions (% , d.b.) of PA<sup>1)</sup>-biofortified rice and parental rice influenced by cooking<sup>2)</sup>**

Component	Parental rice			PA-biofortified rice		
	Raw	Boiling	Steaming/roasting	Raw	Boiling	Steaming/roasting
Moisture	11.30	3.02	4.97	11.71	3.48	4.06
Starch	73.06	72.86	68.32	71.69	72.24	70.55
Crude protein <sup>3)</sup>	6.76	6.91	6.73	7.48	7.49	7.40
Crude lipid	0.56	0.62	0.32	0.57	0.51	0.42
Crude ash	0.45	0.43	0.29	0.51	0.51	0.30

<sup>1)</sup>Provitamin A<sup>2)</sup>Values are means of triplicate analyses.<sup>3)</sup>Nitrogen×5.95

**Table 4. Amino acid contents (mg%, d.b.) of PA<sup>1)</sup>-biofortified rice influenced by cooking<sup>2)</sup>**

Amino acid (mg%, d.b.)	Parental rice	PA-biofortified rice		
		Raw	Boiling	Steaming/roasting
Aspartic acid	660.33	723.26	717.93	703.99
Serine	362.34	393.87	393.47	385.89
Glutamic acid	1312.99	1454.25	1447.09	1444.35
Glycine	330.62	355.63	355.16	350.92
Histidine	172.13	188.24	187.27	183.90
Threonine	228.68	271.19	269.36	265.03
Arginine	552.44	597.58	595.27	567.52
Alanine	403.40	436.64	435.83	434.84
Proline	313.34	340.62	336.77	335.91
Cystein	52.22	53.47	54.25	32.11
Tyrosine	122.38	127.45	124.41	112.17
Valine	414.71	453.53	449.72	448.58
Methionine	153.53	169.00	168.27	164.92
Lysine	258.37	279.84	277.61	233.02
Isoleucine	268.78	297.35	294.78	293.19
Leucine	612.82	665.69	661.01	665.20
Phenylalanine	384.10	425.86	414.92	418.17
Total amino acid	6603.18	7233.48	7183.18	7039.71

<sup>1)</sup>Provitamin A<sup>2)</sup>Values are means of duplicate analyses.

열탕처리에 의해 밥 형태로 가열조리한 프로비타민 A 강화 쌀은 원곡 쌀과 아미노산 조성 및 함량에 변화가 없었으며 총 아미노산 함량이 원곡의 7.23 g/100 g에서 열탕처리 후 7.18 g/100 g으로 거의 차이가 없었다. 이는 취반에 의한 쌀밥에서 총 아미노산 조성에 거의 변화가 없는 것으로 보고한 결과(20)와 유사하였다. 한편 증자/볶음 처리에 의해 가열조리한 프로비타민 A 강화 쌀은 대부분의 아미노산 함량이 약간 감소하는 결과를 초래하였다. 쌀은 가열조리에 의해 아미노산이 환원당과 Maillard 반응에 관여하며(20) 이로 인해 볶음처리가 아미노산의 감소를 초래하는 것으로 사료되었다.

#### 가열조리에 따른 프로비타민 A 강화 쌀의 무기질 조성

가열처리 방법에 따른 프로비타민 A 강화 쌀의 무기질 원소에 대한 함량을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 프로비타민 A 강화 쌀의 무기질 함량은 P 133.0 mg%, K 102.0 mg%, Mg 38.2 mg% 순으로 함량이 높았고 그 다음으로 Ca, Na, Zn, Fe의 순이었으며 Na, Fe 함량을 제외하고 무기질의 함량이 낫동 쌀에 비해 약간 높게 나타났다. 이는 국내산 쌀의 무기질 함량이 P > K > Mg > Na > Ca > Zn > Fe의 순으로 보고한 결과(23)나 Ca 함량이 Na 함량보다 높게 분석된 연구결과(18)와 유사하였으며, 쌀의 종류, 품종 또는 재배에 따른 환경적 차이가 무기질의 함량, 순서에 차이를 줄 수 있는 것으로 사료되었다. 열탕처리에 의해 가열조리한 프로비타민 A 강화 쌀은 Na, Fe, K에 약간의 증감이 있었으나 전체적으로 무기질 함량에는 원곡(288 mg/100 g), 열탕처리(290 mg/100 g)로 큰 차이가 없었다. 한편 증자 및 볶음처리에 의해 가열조리한 프로비타민 A 강화 쌀은 Na, Fe 함량은 약간 증가하였고 Ca, P, Mg, Zn, K의 함량은 감소하여 전체 무기질 함량이 198 mg/100 g으로 감소하는 추세를 보여 열탕조리보다 변화가 큰 것으로 나타났다. 곡류의 수침처리는 무기질의 함

**Table 5. Mineral contents (mg%, d.b.) of PA<sup>1)</sup>-biofortified rice influenced by cooking<sup>2)</sup>**

Mineral (mg%, d.b.)	Parental rice	PA-biofortified rice		
		Raw	Boiling	Steaming/roasting
Ca	6.55	6.88	6.85	4.94
P	111.68	133.00	138.12	96.27
Na	11.07	6.43	9.46	8.83
Fe	0.46	0.41	0.50	0.70
Mg	30.54	38.18	37.99	22.31
Zn	1.67	1.81	1.79	1.42
K	80.85	102.03	95.65	63.20
Total	242.82	288.74	290.37	197.65

<sup>1)</sup>Provitamin A<sup>2)</sup>Values are means of duplicate analyses.**Table 6. Carotenoid contents (µg/g) of PA<sup>1)</sup>-biofortified rice influenced by cooking<sup>2)</sup>**

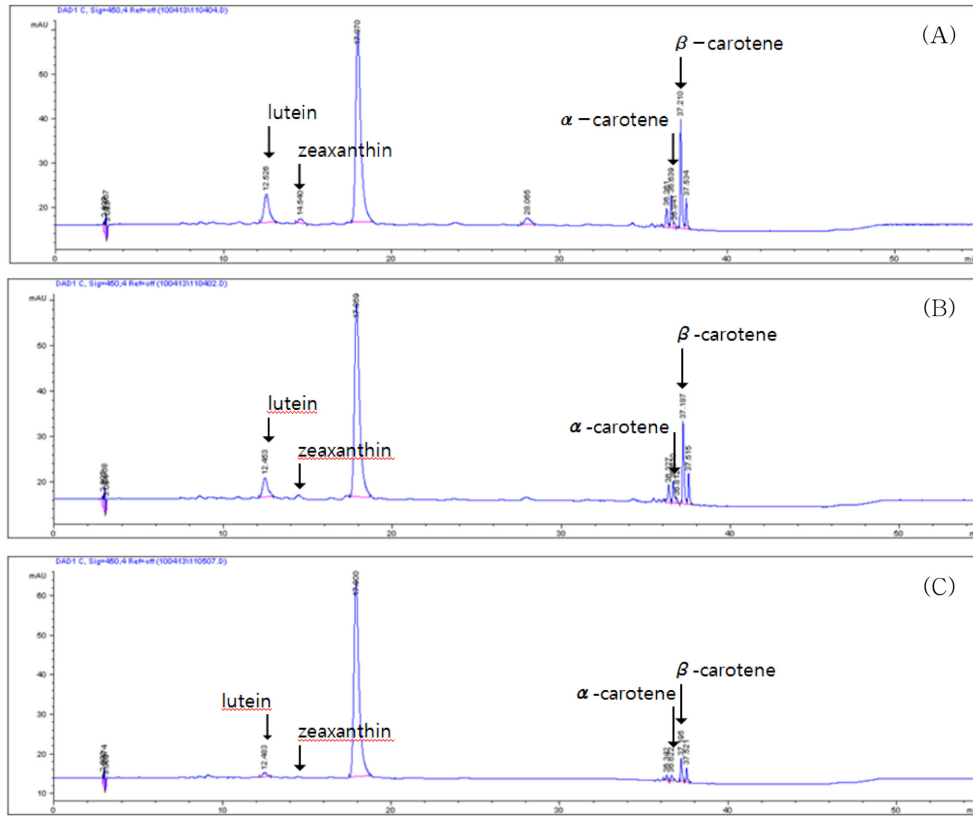
	Parental rice	PA-biofortified rice		
		Raw	Boiling	Steaming/roasting
β-Carotene	nd <sup>3)</sup>	0.42	0.31	0.16
Lutein	nd	0.44	0.28	0.12
Zeaxanthin	nd	0.22	nd	nd
α-Carotene	nd	0.20	0.17	0.12
Total	nd	1.28	0.76	0.40

<sup>1)</sup>Provitamin A<sup>2)</sup>Values are means of triplicate analyses.<sup>3)</sup>Not detected

량을 감소시키는 것으로 보고된(24) 바 있으며, 쌀은 가열조리전 수침처리에 의해 무기질의 용출이 일어나 전체 무기질 함량의 감소를 초래하는 것으로 여겨졌다.

#### 가열조리에 따른 프로비타민 A 강화 쌀의 카로티노이드 함량

가열조리에 의한 가공처리는 식품에 존재하는 카로티노이드의 profile에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 가열조리 방법에 따른 프로비타민 A 강화 쌀의 카로티노이드 함량을 HPLC에 의해 분석한 chromatogram은 Fig. 1에 나타나 있다. 프로비타민 A 강화 쌀의 총 카로티노이드 함량은 원곡의 1.28 µg/g에서 열탕에 의해 밥 형태로 가열조리후 0.76 µg/g으로 감소하였으며 특히 zeaxanthin과 lutein의 감소폭이 상대적으로 크게 나타났다(Table 6). 증자 및 볶음처리에 의해 조리가공한 프로비타민 A 강화 쌀의 총 카로티노이드 함량은 0.40 µg/g으로 원곡의 약 30% 수준으로 현저하게 감소하였다. 프로비타민 A 강화 쌀의 lutein과 zeaxanthin은 대부분이 소실되었으며 베타-카로틴 함량은 원곡의 38% 수준으로 감소하였다. 프로비타민 A 강화 쌀의 가열조리시 증자/볶음처리가 열탕에 의한 가열조리 보다 현저한 카로티노이드의 손실을 초래하였다. 열처리 가공중에 카로티노이드의 감소는 고추, 당근, 고구마 β-carotene의 열적분해 또는 trans-cis-이성화에 의해 그 함량이 저하되는 것과(25-27) 유사하기 때문으로 여겨졌으며 열처리 조리방법에 따라 카로티노이드의 손실에 차이가 있다는 결과(28)와 유사하게 나타났다. 프로비타민 A 강화 쌀을 조리가공시에 카로티노이드의 손실은 가열처리 온도와 정도 등 가열조건에 따라 영향을 받는 것으로 판단되어 카로티노이드의 손실을 최



**Fig. 1.** HPLC chromatograms of carotenoids in provitamin A-biofortified rice by cooking. A, raw milled rice; B, cooked by boiling method; C, cooked by steaming/roasting method.

소화하기 위해서는 과도한 열처리에 의한 조리가공을 피하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

### 요 약

국내에서 개발된 유전자변형 프로비타민 A 강화 벼로부터 얻은 쌀을 열탕 또는 증자/볶음처리 방법에 의해 가열조리 했을 때 프로비타민 A 강화 쌀의 주요 영양성분 조성 및 함량에 미치는 영향을 조사하였다. 프로비타민 A 강화 쌀의 일반성분 함량은 모 품종 쌀인 낙동 쌀과 유사하였으며 밥 형태로의 열탕처리에 의해 별 차이가 없었으나 증자/볶음 처리에 의해서는 다소 감소하는 결과를 주었다. 프로비타민 A 강화 쌀의 지방산으로 oleic acid, linoleic acid, palmitic acid가 대부분을 차지하고 있었으며 가열조리에 따른 지방산 조성에는 차이가 없는 것으로 나타났다. 열탕처리에 의해 가열조리한 프로비타민 A 강화 쌀은 아미노산 조성 및 함량에 차이가 없었으나 증자/볶음 처리는 대부분의 아미노산 함량을 약간 감소시켰다. 열탕처리에 의해 가열조리한 프로비타민 A 강화 쌀은 전체적으로 무기질 함량에 큰 차이가 없었으나 증자/볶음처리에 의해 변화가 큰 것으로 나타났다. 프로비타민 A 강화 쌀의 총 카로티노이드 함량은 원곡의 1.28 µg/g에서 열탕조리 후 0.76 µg/g으로 감소하였으며 증자 및 볶음처리는 0.40 µg/g으로 원곡의 약 30% 수준으로 현저한 감소를 초래하였다. 따라서 프로비타민 A 강화 쌀의 조리가공시 가열방법 및 열처리 정도는 카로티노이드를 포함한 영양성분의 손실을 최소화하기 위해 고려해야할 중요한 요소인 것으로 제시되었다.

### 감사의 글

본 연구는 농진청 바이오그린21사업의 지원에 의한 결과로 이에 감사드립니다.

### 문 헌

- James C. Global status of commercialized biotech/GM crops. ISAAA Briefs No. 37-2007, ISAAA, Ithaca, NY, USA (2007)
- Lee KP, Kim DH, Kweon SJ, Baek HJ, Ryu TH. Risk assessment and variety registration of transgenic crops. *J. Plant Biotechnol.* 35: 13-21 (2008)
- Juliano BO, Bechtel DB. The rice grain and its gross composition. pp. 37-50. In: *Rice Chemistry and Technology*. Juliano BO (ed). AACC, St. Paul, MN, USA (1985)
- Yonekura-Sakakibara K, Saito K. Review: Genetically modified plants for the promotion of human health. *Biotechnol. Lett.* 28: 1983-1991 (2005)
- Ye X, Al-Babili S, Kloti A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I. Engineering the provitamin A ( $\beta$ -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science* 5: 287-303 (2000)
- Hoa TTC, Al-Babili S, Schaub P, Potrykus I, Beyer P. Golden Indica and Japonica rice lines amenable to deregulation. *Plants Physiol.* 133: 161-169 (2003)
- Paine JA, Shipton CA, Chaggar S, Howells RM, Kennedy MJ, Vernon G, Wright SY, Hinchliffe E, Adams JL, Silverstone AL, Drake R. Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. *Nature Biotechnol.* 23: 482-487 (2005)
- Ha SH. Fusion polynucleotide for biosynthesis of  $\beta$ -carotene

- comprising self-cleavage 2A sequence and transformed cells thereby. Korean Patent 10-0905219 (2009)
9. Dawe D, Robertson R, Unnevehr L. Golden rice: What role could it play in alleviation of vitamin A deficiency? *Food Policy* 27: 541-560 (2002)
  10. Edge R, McGarvey DJ, Truscott TG. The carotenoids as antioxidants - A review. *J. Photoch. Photobio. B.* 41: 189-200 (1997)
  11. Astrog P. Food carotenoids and cancer prevention: An overview of current research. *Trends Food Sci. Technol.* 8: 406-412 (1997)
  12. OECD. Safety considerations of foods derived by modern biotechnology: concepts and principle. Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, France (1993)
  13. Kim HC, Kim HM. Risk assessment of genetically modified organism. *J. Toxicol. Pub. Health* 19: 1-12 (2003)
  14. Lee YT, Kim JK, Ha SH, Cho HS, Suh SC. Analyses of nutrient composition in genetically modified  $\beta$ -carotene biofortified rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 105-109 (2010)
  15. Lee SH, Park HJ, Cho SY, Chun HK, Park YH, Jeong MH, Park SH. Evaluation of nutritional safety for the herbicide-resistant rice in growing male rats. *Korean J. Nutr.* 36: 1030-1035 (2003)
  16. AACC. Approved Methods of the AACC. 10<sup>th</sup> ed. Method 44-15A, 46-13, 30-10, 76-1, 76-11. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA (2000)
  17. Waters AccQ-Tag Amino Acid Analysis System. Operator's Manual. Manual number 154-02TP REV O June. Millipore Corp., Melford, MA, USA (1993)
  18. Choe JS, Ahn HH, Nam HJ. Comparison of nutritional composition in Korean rices. *J Korean Soc Food Sci. Nutr.* 31: 885-892 (2002)
  19. Kyoun OY, Oh SH, Kim HJ, Lee JH, Kim HC, Yoon WK, Kim HM, Kim MR. Analyses of nutrients and antinutrients of rice cultivars. *Korean J. Food Cookery Sci.* 22: 949-956 (2006)
  20. Cheigh HS. Chemical changes and volatile carbonyl formation occurred in rice during cooking process. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 14: 61-66 (1985)
  21. Lee HS, Ryu TH, Jung HY, Park SK, Park GH, Sohn JK, Kim KM. Characteristics of agronomy to vitamin A strengthening rice at large scale GMO field. *Korean J. Breeding Sci.* 42: 56-60 (2010)
  22. Flachowsky G, Aulrich K, Bohme H, Halle I. Studies on feeds from genetically modified plants(GMP) - Contributions to nutritional and safety assessment. *Animal Feed Sci. Technol.* 133: 2-30 (2007)
  23. Kim MS, Yang HR, Jeong YH. Mineral contents of brown and milled rice. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 33: 443-446 (2004)
  24. Lestienne I, Icard-Verniere C, Mouquet C, Picq C, Treche S. Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chem.* 89: 421-425 (2005)
  25. Markus F, Daood HG, Kapitany J, Biacs PA. Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *J. Agr. Food Chem.* 47: 100-107 (1999)
  26. Chandler LA, Schwarz SJ. Isomerization and losses of trans- $\beta$ -carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments. *J. Agr. Food Chem.* 36: 129-133 (1988)
  27. Imsic M, Winkler S, Tomkins B, Jones R. Effect of storage and cooking on  $\beta$ -carotene isomers in carrots (*Daucus carota* L. cv. 'Stefano'). *J. Agr. Food Chem.* 58: 5109-5113 (2010)
  28. Kidmose U, Christensen LP, Agili SM, Thilsted SH. Effect of home preparation practices on the content of provitamin A carotenoids in colored sweet potato varieties (*Ipomoea batatas* Lam.) from Kenya. *Innov. Food Sci. Emerg.* 8: 399-406 (2007)