

유전자변형 베타-카로틴 강화 쌀의 주요 영양성분 분석

이영택^{1*} · 김재광² · 하선화² · 조현석² · 서석철²

¹경원대학교 식품생물공학과

²농촌진흥청 국립농업과학원 농업생명자원부

Analyses of Nutrient Composition in Genetically Modified β -Carotene Biofortified Rice

Young-Tack Lee^{1*}, Jae-Kwang Kim², Sun-Hwa Ha², Hyun-Seok Cho², and Seok-Chul Suh²

¹Dept. of Food Science and Biotechnology, Kyungwon University, Gyeonggi 461-701, Korea

²National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Gyeonggi 441-707, Korea

Abstract

This study was conducted to analyze nutrient composition of a genetically modified β -carotene biofortified rice (GM rice), developed by the Rural Development Administration in Korea. The nutritional constituents of GM rice were compared with those of the parental rice cultivar 'Nakdong' as a non-GM control to assess nutritional equivalence. Proximate components (moisture, starch, protein, lipid, and ash) of the GM rice were similar to those of the conventional non-GM rice. β -Carotene contents of GM brown and milled rice were 2.35, 2.03 $\mu\text{g/g}$ (d.b.), respectively. There were no significant differences between the GM and non-GM rice with respect to most of their nutrient composition, despite minor differences in most amino acids and minerals. This result demonstrated that the nutritional composition of this GM rice would be equivalent to that of the parental non-GM rice without major changes in its chemical contents.

Key words: genetically modified (GM), GM rice, β -carotene biofortified, nutrient composition

서 론

생명공학기술의 발전으로 원하는 목적을 지닌 유전자를 타생물체에 삽입함으로써 다양한 유전자변형생물체, 즉 GMO(genetically modified organism)들이 만들어지고 있다. 유전자변형생물체는 LMO(living modified organism)의 우리말 표기로도 사용되며, 이는 생명력을 유지하고 있어서 후대에 전파될 수 있음을 강조할 경우이다(1). 유전자 변형(GM)작물은 1990년 중반부터 콩, 옥수수, 목화, 유채 등 수종의 주요 작물들이 제초제, 해충, 병 저항성을 지니도록 개발되어 상업적으로 이용되기 시작하면서 인구증가에 따른 식량부족, 지구 환경의 변화, 그리고 농경지 및 생산성 감소 등의 문제점을 극복하는 방안으로 인식되고 있다. 전 세계적으로 GM작물의 재배면적은 급속히 증가하여 2007년 23개국에서 GM작물의 재배면적이 1억 1,430만 ha로 96년 대비 67배 이상 증가하였고, 누적면적이 6억 9,000만 ha에 달한다(2). 우리나라도 많은 양의 GM작물이 수입되고 있으며 국내 개발현황과 관련하여 다양한 종의 GM작물이 개발 중에 있으나 현재까지 상업화된 GM작물은 없는 실정이다(3).

쌀은 전 세계 인구의 반 이상이 주식으로 이용하는 중요한

에너지원이 되는 곡류이다. 그러나 쌀은 주로 도정하여 백미로 섭취하며 백미의 경우 Fe, Zn, vitamin E와 vitamin A와 같은 여러 가지 필수 미량영양소가 부족하다(4). 쌀의 영양학적 품질을 향상시키기 위한 방법으로 유전공학기술이 도입되었으며 쌀 배유에 provitamin A인 베타-카로틴(β -carotene)을 생성하는 유전자재조합쌀 일명 황금쌀(golden rice)이 vitamin A 결핍증을 줄이기 위한 방안으로 개발되었다. 황금쌀은 Japonica 쌀 품종에 수선화(*Narcissus pseudonarcissus*)의 phytoene synthase(PSY) 유전자와 세균 *Erwinia uredovora*의 phytoene desaturase(CrtI) 유전자를 삽입함으로써 최초로 재조합되었으며(5), 이어서 Indica 쌀 품종에도 적용되었다(6,7). 그 후 옥수수 PSY 유전자를 선택하여 최초 개발된 황금쌀에 비해 carotenoid 함량이 약 20배 정도 증가된 제2세대 황금쌀이 개발되었다(8). 국내에는 최근 농촌진흥청 국립농업과학원에서 다양한 숙과색의 고추(*Capsicum*)로부터 carotenoid의 생합성 조절기작을 규명하고(9), 고추 carotenoid 대사관련 다중유전자를 동시발현기술(10)에 의해 쌀의 배유부위에 발현시킨 베타-카로틴 생합성 벼를 개발하였다.

GM작물은 개발과정에서부터 환경방출에 이르기까지 그리고 최종적으로 소비자에게 전달되는 전 과정에서 발생될

*Corresponding author. E-mail: ytlee@kyungwon.ac.kr
Phone: 82-31-750-5565, Fax: 82-31-750-5273

수 있는 위해성에 대하여 철저한 검증과정을 거쳐야 한다. 2008년 1월부터 ‘바이오안전성의정서’ 및 ‘유전자변형생물체의 국가간 이동 등에 관한 법률(LMO법)’의 시행으로 GM작물의 개발을 위해서는 엄격한 위해성 평가와 심사를 받아야 하며 또 이를 식품으로 이용할 경우에는 식품에 대한 안전성을 입증 받아야 한다(1). 일반적으로 GM식품의 안전성은 그의 traditional counterpart와 비교 시 그만큼 안전하다는 것을 확인하는 것을 목표로 하는 실질적동등성에 의한 안전성 평가가 이루어진다(11). GM식품의 인체 안전성 평가에는 주요 및 미량 영양성분 함량을 분석하고 실질적 동등성에 차이가 있을 경우 독성, 알레르기 유발 가능성 등을 평가할 필요가 있다(12).

본 연구에서는 국내에서 개발된 유전자변형 베타-카로틴 생합성 벼의 식품 안전성 평가의 일환으로 모종 벼인 낙동벼와 함께 쌀의 주요 영양성분 함량을 비교 분석하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용한 쌀 시료는 모종인 낙동벼와 수원과 균위에서 재배한 유전자변형 베타-카로틴 강화 벼로서 농촌진흥청 국립농업과학원 생물안전성과에서 제공받아 사용하였다. 냉장보관 한 벼를 제현기(Satake rice machine Type THU, Satake Engineering Co., Tokyo, Japan)로 처리하여 왕겨를 분리하고 현미를 제조하였으며, 이 현미를 도정기(Testing rice mill VP-31T, Fujihara Factory, Tokyo, Japan)로 도정하여 백미를 제조하였다. 현미와 백미는 0.5 mm screen을 사용한 Cyclotec 1093 Sample Mill(Tecator, Hoganas, Sweden)로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

일반성분 분석

쌀 시료의 수분, 조단백, 조회분, 전분 함량은 각각 AACC 방법(13) 44-15A, 46-13, 08-01, 76-1에 의해 분석하였으며, 조지방 함량은 AOAC Soxhlet 방법(14)에 의해 분석하였다.

베타-카로틴 및 토코페롤 분석

쌀 시료 5 g을 환저플라스크에 취하여 이에 10 mL 1 N KOH를 가한 후 90°C 환류냉각기가 장착된 수욕조에서 30분 동안 검화시켰다. 이를 상온에서 냉각시킨 후 250 mL 갈색 separatory funnel로 옮긴 다음 석유에테르 100 mL, 포화식염수 50 mL를 넣고 격렬히 진탕하여 석유에테르층을 분리시켰다. 석유에테르층에 포화식염수 50 mL를 가하고 1분간 격렬히 진탕하여 층 분리가 완전히 이루어지면 하층을 제거하고 포화식염수를 이용하여 반복하였다. 이렇게 얻어진 석유에테르층을 250 mL 용량의 지방수기에 옮겨 40°C 온도에서 감압농축 하여 건조시킨 후 10 mL 이소프로판올을 가하여 0.2 µm membrane filter로 여과한 시험용액으로 하였으며, HPLC를 사용하여 베타-카로틴 및 토코페롤을 분석하였

다. 이때 분석조건으로 column은 Oasis C18(150 mm×4.6 mm i.d., 5 µm particle size), 이동상은 ethyl acetate:acetonitrile:acetic acid(30:68:2, v/v/v), 이동상의 유속은 1.0 mL/min, 주입량은 10 µL이었다.

지방산 분석

쌀 시료로부터 추출한 지방질 20 mg을 25 mL 튜브에 취하여 0.5 N NaOH/methanol 2 mL을 넣어 마개를 막고 heating block(100°C)에서 약 5분간 가수분해 시켰다. 이를 냉각한 후 14% BF₃/methanol 2 mL을 넣고 5분간 반응시킨 다음 이소옥탄 2 mL을 넣고 진탕하였다. 반응이 끝나면 시료가 든 튜브에 포화식염수 3 mL을 넣고 5초간 가볍게 흔들어준 후 이소옥탄층을 뽑아 무수황산나트륨을 이용하여 탈수시켰다. 탈수된 지방산 메틸 에스테르 시험액을 받아 Gas Chromatography(Hewlett-Packard 6890 series, USA)에 주입하여 분석하였다. 이때 분석조건으로 column은 HP-FFAP(30 m×0.25 µm)를 사용하여 column 초기온도 100°C에서 2분간 유지시킨 후 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)을 사용하였다.

아미노산 분석

쌀 시료 약 0.3 g을 취하여 ampule에 넣고 6 N HCl 15 mL를 가한 다음 N₂로 치환하여 신속하게 밀봉한 상태로 105°C 오븐에서 24시간 가수분해 시켰다. 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(15)으로 유도체화시킨 다음 아미노산 분석기를 이용하여 아미노산을 분석하였다. 이때 column은 Nova-Pak C₁₈(3.9×150 mm, Waters, 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 gradient 방법으로 분석하였다.

무기질 분석

쌀 시료 약 1 g을 항량이 된 회분도가니에 취해 넣고 전열기 위에서 예열한 뒤, 450°C 회화로에서 회백색이 될 때까지 회화시켰다. 회화된 시료에 증류수 10방울 정도를 떨어뜨린 다음 묽은 질산용액(질산:증류수=1:1, v/v) 3 mL를 넣고 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 녹인 후 HPLC용 증류수를 이용하여 50 mL로 정용한 다음, 무회분 여과지로 여과한 용액을 ICP-AES(Horiba Jobin-Yvon JY Activa, France)에 주입하여 분석하였다.

결과 및 고찰

일반성분

국내에서 개발하여 본 실험에 사용한 유전자변형 베타-카로틴 강화벼(GM 벼)(10)와 모종 벼인 낙동벼(non-GM 벼)로부터 얻은 현미와 백미의 일반성분을 분석한 결과는 Table 1과 같다. GM 현미는 전분함량 66.47%, 조단백 6.97%, 조지방 2.42%, 조회분 1.45%였으며 이는 non-GM 현미의 전분함량 65.46%, 조단백 6.89%, 조지방 2.63%, 조회분 1.27%와 유사하였다. GM 백미의 경우 전분함량은 72.25%, 조단백 6.46%, 조지방 0.95%, 조회분 1.12%로 현미에 비해 전분함량이 증가한 반면 조단백, 조지방, 조회분 함량은 다소 감소하였으며 non-GM 백미와는 별 차이를 보이지 않았다. Juliano와 Bechtel(4)에 의하면 쌀의 일반성분 함량이 현미는 단백질 7.1~8.3%, 조지방 1.6~2.8%, 조회분 1.0~1.5% 범위이고 백미는 단백질 6.3~7.1%, 조지방 0.3~0.5%, 조회분 0.3~0.8% 범위로 보고한 바 있다. 또한 지금까지 국내산 쌀의 일반성분에 관한 연구결과에서 쌀은 품종 및 환경적인 요인에 따라 일반성분의 함량에 차이가 있으나 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(16,17) 바와 비교할 때 본 실험의 베타-카로틴 강화 GM 쌀은 국내산 일반 쌀의 일반성분 함량 범위 내에 있는 것으로 분석되었다.

베타-카로틴 및 총 토코페롤 함량

GM 쌀과 non-GM 쌀의 베타-카로틴 함량과 총 토코페롤 함량을 측정된 결과는 Table 2에 나타나 있다. Non-GM 현

미에는 베타-카로틴이 0.2 µg/g으로 미량 존재하고 있었으나 non-GM 백미에서는 베타-카로틴이 검출되지 않았으며, 일반 쌀은 종실의 호분층에 미량의 베타-카로틴을 가지고 있으나 도정과정에 의해 제거된다(18)고 하였다. 본 실험에 사용한 GM 현미와 백미의 베타-카로틴 함량은 각각 2.35, 2.03 µg/g으로 분석되었으며, 현미뿐만 아니라 도정한 백미의 배유에도 비슷한 함량의 베타-카로틴이 생합성 되어 있음을 알 수 있었다. 이는 베타-카로틴 생성용 유전자 다중발현 재조합 유전자의 도입에 의해 형질전환 된 벼로부터 얻은 쌀 100 g당 0.2 mg 정도의 베타-카로틴이 생성된다는 이전의 결과(10)와 일치하는 것으로 나타났다. 본 실험에 사용한 GM 쌀의 베타-카로틴 함량은 Ye 등(5)이 개발한 golden rice 1의 carotenoid 함량인 1.6 µg/g에 비해 높았으나 Paine 등(8)에 의해 개발된 golden rice 2(약 31 µg/g)에 비해서는 낮은 함량을 포함하는 것으로 나타났다.

총 토코페롤 함량은 non-GM 현미와 백미에서 각각 3.10, 0.16 µg/g을 함유하는 것으로 분석되었다. 토코페롤은 쌀 배유 부위에 미량으로 존재하는 반면 배아 부위에서는 그 함량이 높지만 도정 중에 제거되는 것(19)으로 알려져 있다. GM 현미의 토코페롤 함량은 1.53 µg/g으로 non-GM 현미보다 낮았으나 GM 백미의 경우에는 0.35 µg/g으로 non-GM 백미보다 약간 증가한 것으로 분석되었다.

지방산 조성

GM 쌀과 non-GM 쌀 시료의 총 지질을 추출하여 Gas Chromatography로 분리하여 분석한 지방산 조성은 Table 3에 나타나 있다. 쌀에 함유되어 있는 지방산으로서 myristic acid, palmitic acid, palmitoleic acid, stearic acid, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, arachidonic acid, gadoleic acid,

Table 1. Proximate compositions (% , d.b.)¹⁾ of β-carotene biofortified GM rice and parental non-GM rice

Component	Milled rice		Brown rice	
	GM ²⁾	Parental	GM	Parental
Moisture	9.99	10.07	9.78	10.15
Starch	72.75	74.53	66.47	65.46
Crude protein ³⁾	6.46	6.36	6.97	6.89
Crude lipid	0.95	0.53	2.42	2.63
Crude ash	0.52	0.40	1.45	1.27

¹⁾Values are means of triplicate analyses.

²⁾Genetically-modified.

³⁾Nitrogen × 5.95.

Table 2. β-Carotene and tocopherol contents¹⁾ of β-carotene biofortified GM rice and parental non-GM rice

	Milled rice		Brown rice	
	GM ²⁾	Parental	GM	Parental
β-Carotene (µg/g)	2.03	ND ³⁾	2.35	0.20
Tocopherol (µg/g)	0.35	0.16	1.53	3.10

¹⁾Values are means of duplicate analyses.

²⁾Genetically-modified.

³⁾Not detected.

Table 3. Fatty acid compositions (% , d.b.)¹⁾ of β-carotene biofortified GM rice and parental non-GM rice

Fatty acid (%, d.b.)	Milled rice		Brown rice	
	GM ²⁾	Parental	GM	Parental
Myristic acid (C14:0)	0.3	0.3	0.2	0.2
Palmitic acid (C16:0)	16.6	17.6	15.7	16.4
Palmitoleic acid (C16:1)	0.2	0.1	0.2	0.2
Stearic acid (C18:0)	2.1	1.8	1.9	1.6
Oleic acid (C18:1)	40.5	39.0	42.5	40.6
Linoleic acid (C18:2)	37.2	38.2	36.2	37.8
Linolenic acid (C18:3)	1.4	1.2	1.4	1.4
Arachidic acid (C20:0)	0.6	0.6	0.7	0.6
Gadoleic acid (C20:1)	0.5	0.5	0.5	0.6
Behenic acid (C22:0)	0.2	0.2	0.3	0.2
Lignoceric acid (C24:0)	0.4	0.5	0.4	0.4
SFA ³⁾	20.2	21.0	19.2	19.4
USFA ⁴⁾	79.8	79.0	80.8	80.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

¹⁾Values are means of duplicate analyses.

²⁾Genetically-modified.

³⁾SFA: saturated fatty acid.

⁴⁾USFA: unsaturated fatty acid.

behenic acid, lignoceric acid를 분리할 수 있었다. 백미의 지방산 조성은 GM 쌀과 non-GM 쌀 모두에서 oleic acid와 linoleic acid가 비슷한 수준으로 가장 높았으며 palmitic acid를 포함하여 이 3종의 지방산이 전체의 94% 이상으로 거의 대부분을 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. 국내산 쌀의 지방산 조성은 oleic, linoleic, palmitic acid를 포함하여 3종의 지방산 비율이 높아 대부분을 차지하며 품종에 따라 oleic acid 또는 linoleic acid가 가장 높은 비율로 나타난다고 보고한 바(16,17)와 유사하였다. GM 백미의 포화지방산(saturated fatty acid; SFA) 함량의 비율은 palmitic acid가 16.6%로 전체 포화지방산(20.2%)의 대부분을 차지하고 있으며 총 불포화지방산(unsaturated fatty acid; USFA)은 79.8%로 oleic acid와 linoleic acid가 각각 40.5%, 37.2%로 총지방산 중 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. 본 연구결과에서 GM 백미와 non-GM 백미의 전체적인 지방산 조성은 유사한 것으로 나타났다.

GM 현미의 지방산 조성은 백미의 경우와 유사한 경향을 보여주었다. GM 현미와 non-GM 현미의 총 불포화지방산 함량 비율은 각각 80.6%, 80.8%로 거의 일치하였으며 백미의 총 불포화지방산 조성보다는 약간 높게 나타났다. 베타-카로틴 강화 GM 쌀 백미와 현미의 USFA/SFA의 비율은 각각 3.95, 4.20으로 현미에서 높았으며, 국내산 쌀 USFA/SFA의 비율이 백미 2.0~5.1, 현미 3.6~4.2로 보고한 결과(16)의 범위 안에 있었다.

아미노산 조성

GM 쌀과 non-GM 쌀에 함유된 아미노산 함량을 분석하여 비교한 결과는 Table 4에 나타나 있다. GM 백미에 함유되어 있는 아미노산 함량은 glutamic acid가 1,151 mg%로 가장 높았으며 Asp(570 mg%)>Arg(535 mg%)>Leu(505 mg%)>Ala(364 mg%)>Ser(353 mg%)>Val(345 mg%) 순으로 나타났다. GM 백미는 non-GM 백미에 비해 cystein을 제외한 모든 아미노산의 함량이 약간 높았으나 GM과 non-GM 백미간 아미노산 함량의 유의적인 차이는 없는 것으로 판단되었다. 한편 현미의 아미노산 함량은 백미에 비해 다소 증가하였다. 전체적으로 GM 쌀에 함유된 아미노산의 함량은 glutamic acid, aspartic acid와 같은 산성아미노산의 함량이 높게 나타났고 arginine, leucine, alanine, serine의 순이었다. 또한 histidine, cystein은 낮은 수준으로 포함되었으며 methionine의 함량이 가장 낮게 나타났다. 본 실험에 사용한 쌀은 현미와 백미의 아미노산 함량이 Glu>Asp>Arg>Leu>Val 순으로 보고한 결과(20)와 유사하였다. 총 아미노산 함량은 GM 백미에서 6.38 g/100 g, non-GM 백미에서 5.99 g/100 g이었으며, GM 현미 6.66 g/100 g, non-GM 현미 6.29 g/100 g으로 GM 쌀에서 약간 높게 분석되어 조단백질 함량의 분석결과와 유사한 경향이였다.

Table 4. Amino acid contents (mg%, d.b.)¹⁾ of β -carotene biofortified GM rice and parental non-GM rice

Amino acid (mg%, d.b.)	Milled rice		Brown rice	
	GM ²⁾	Parental	GM	Parental
Aspartic acid	569.9	507.6	634.9	594.3
Serine	352.7	315.0	378.5	355.3
Glutamic acid	1,151.4	989.3	1,211.1	1,097.3
Glycine	312.2	269.5	341.2	327.0
Histidine	148.9	144.0	158.8	160.3
Threonine	234.0	188.4	252.1	243.5
Arginine	534.9	484.3	566.2	557.9
Alanine	364.2	320.1	405.3	381.9
Proline	315.7	283.9	342.8	326.9
Cysteine	133.8	142.3	160.7	173.2
Tyrosine	267.2	263.8	276.6	271.8
Valine	345.0	315.8	346.6	357.9
Methionine	71.9	66.4	86.3	77.2
Lysine	326.5	311.4	365.1	345.6
Isoleucine	239.7	222.5	255.9	248.2
Leucine	504.9	453.0	532.4	508.8
Phenylalanine	330.6	312.7	349.8	350.2
Total amino acid	6,377.3	5,990.0	6,664.3	6,203.5

¹⁾Values are means of duplicate analyses.

²⁾Genetically-modified.

무기질 조성

GM 쌀과 non-GM 쌀의 7개 무기질 원소에 대한 함량을 분석한 결과는 Table 5와 같다. Non-GM 백미의 무기질 함량은 P 126.3 mg%, K 90.5 mg%, Mg 33.3 mg% 순으로 함량이 높았으며 그 다음으로 Na, Ca, Zn, Fe의 순으로 나타났다. GM 백미의 무기질 함량은 P 143.8 mg%, K 102.3 mg%, Mg 40.8 mg% 순으로 대부분을 차지했고 그 다음으로 Na, Ca, Zn, Fe의 순으로 non-GM 백미와 같은 순서였으며 Fe 함량을 제외하고 무기질의 함량이 non-GM 백미에 비해 약간 높게 나타났다.

GM 현미와 non-GM 현미의 무기질 함량은 각각 P 313.6, 307.2 mg%, K 237.7, 238.3 mg%, Mg 105.8, 101.8 mg%, Na 23.5, 15.5 mg%, Ca이 15.8, 12.0 mg%였으며 Fe, K를 제외하고 GM 현미에서 약간 높게 나타났다. 현미의 무기질 함량은 백미에 비해 높았는데, 특히 P, K, Mg는 백미보다 2배 이상의 높은 함량으로 분석되었다. GM 현미와 non-GM

Table 5. Mineral contents (mg%, d.b.)¹⁾ of β -carotene biofortified GM rice and parental non-GM rice

Mineral (mg%, d.b.)	Milled rice		Brown rice	
	GM ²⁾	Parental	GM	Parental
Ca	10.45	10.14	15.83	12.02
P	143.81	126.27	313.56	307.18
Na	18.41	14.84	23.52	15.54
Fe	1.15	1.90	1.32	1.71
Mg	40.83	33.25	105.75	101.79
Zn	2.25	2.20	3.28	2.98
K	102.33	90.53	237.69	238.34

¹⁾Values are means of duplicate analyses.

²⁾Genetically-modified.

현미 모두에서 P>K>Mg>Na>Ca>Zn>Fe의 순이었으며 이는 국내산 쌀의 무기질 함량을 분석한 연구결과(21,22)와 유사한 경향이였다. 한편 일부 쌀 무기질 시험 결과에서 K의 함량이 P의 함량보다 많거나, Ca 함량이 Na 함량보다 많게 분석된(16,17) 바 있으며, 이는 쌀의 종류, 품종 또는 재배지역간의 환경적 차이가 무기질의 함량, 순서에 차이를 나타낼 수 있기 때문으로 사료되었다.

요 약

본 연구는 국내에서 개발된 베타-카로틴 강화 유전자변형 벼(GM 벼)와 그 모종 벼인 낙동벼(non-GM 벼)로부터 쌀(현미, 백미)의 일반성분, 베타-카로틴, 지방산, 아미노산, 무기질 함량을 분석하여 유전자변형 쌀에서 주요 영양성분 조성에 차이가 있는지를 비교하기 위해 수행되었다. GM 쌀은 non-GM 모종 쌀과 일반성분 함량이 유사하였고 GM 쌀 100 g당 약 0.2 mg의 베타-카로틴을 함유하는 것으로 분석되었다. GM 쌀의 지방산 조성은 oleic acid, linoleic acid, palmitic acid가 지방산 전체의 94% 이상으로 거의 대부분을 차지하고 있었으며 non-GM 쌀과 전체적인 지방산 조성이 유사한 것으로 나타났다. GM 쌀의 아미노산은 Asp>Arg>Leu>Ala>Ser>Val 순으로 그 함량이 높았고 무기질 함량은 P>K>Mg>Na>Ca>Zn>Fe의 순이었으며, non-GM 쌀에 비해 대부분의 아미노산과 무기질 함량이 약간 높은 수치로 측정되었지만 유의적인 차이는 없는 것으로 평가되었다. 베타-카로틴 강화 유전자변형 쌀은 의도한 바의 베타-카로틴이 쌀의 종실에 생합성 됨과 함께 쌀의 일반성분, 지방산, 아미노산 및 무기질 함량에는 별 다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농진청에서 시행한 바이오그린21사업의 연구비 지원과 2010년도 경원대학교 지원에 의한 결과로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Lee KP, Kim DH, Kweon SJ, Baek HJ, Ryu TH. 2008. Risk assessment and variety registration of transgenic crops. *J Plant Biotechnol* 35: 13-21.
- James C. 2007. Global status of commercialized biotech/GM crops. ISAAA Briefs No. 37-2007. ISAAA, Ithaca, NY, USA.
- Woo HJ, Lim SH, Lee KJ, Won SY, Kim TS, Cho HS, Jin YM. 2006. Current development status on the genetically modified crops in Korea. *Korean J Intl Agric* 18: 221-229.
- Juliano BO, Bechtel DB. 1985. The rice grain and its gross composition. In *Rice Chemistry and Technology*. Juliano BO ed. AACC, Inc., St. Paul, MN, USA. p 37-50.
- Ye X, Al-Babili S, Klott A, Zhang J, Lucca P, Beyer P, Potrykus I. 2000. Engineering the provitamin A (β -carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science* 5: 287-303.
- Hoa TTC, Al-Babili S, Schaub P, Potrykus I, Beyer P. 2003. Golden Indica and Japonica rice lines amenable to deregulation. *Plant Physiol* 133: 161-169.
- Datta K, Baisakh N, Oliva N, Torrizo L, Abrigo E, Tan J, Rai M, Rehana S, Al-Babili S, Beyer P. 2003. Bioengineered "golden" indica rice cultivars with β -carotene metabolism in the endosperm with hygromycin and mannose selection systems. *Plant Biotech J* 1: 81-90.
- Paine JA, Shipton CA, Chaggar S, Howells RM, Kennedy MJ, Vernon G, Wright SY, Hinchliffe E, Adams JL, Silverstone AL, Drake R. 2005. Improving the nutritional value of golden rice through increased pro-vitamin A content. *Nat Biotechnol* 23: 482-487.
- Ha SH, Kim JB, Park JS, Lee SW, Cho KJ. 2007. A comparison of the carotenoid accumulation in *Capsicum* varieties that show different ripening colours: deletion of the capsanthin-capsorubin synthase gene is not a prerequisite for the formation of a yellow pepper. *J Exp Bot* 58: 3135-3144.
- Ha SH. 2009. Recombinant PIC gene including internal ribosome entry site sequence of crucifer-infecting Tobamovirus for beta-carotene biosynthesis, expression vector comprising thereof and a transformant cell. *Korean Patent* 10-2009-0084137.
- OECD. 1993. Safety considerations of foods derived by modern biotechnology: concepts and principle. OECD, Paris.
- Kim HC, Kim HM. 2003. Risk assessment of genetically modified organism. *J Toxicol Pub Health* 19: 1-12.
- AACC. 2000. *Approved methods of the AACC*. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- AOAC. 1990. *Official methods of analysis*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- Waters AccQ-Tag amino acid analysis system. 1993. Operator's manual, Manual number 154-02TP REV O June, USA.
- Choe JS, Ahn HH, Nam HJ. 2002. Comparison of nutritional composition in Korean rices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 885-892.
- Kyoun OY, Oh SH, Kim HJ, Lee JH, Kim HC, Yoon WK, Kim HM, Kim MR. 2006. Analyses of nutrients and anti-nutrients of rice cultivars. *Korean J Food Cookery Sci* 22: 949-956.
- Sautter C, Poletti S, Zhang P, Gruijssem W. 2006. Biofortification of essential nutritional compounds and trace elements in rice and cassava. *Proc Nutr Soc* 65: 153-159.
- Al-Babili S, Beyer P. 2005. Golden rice—five years on the road—five years to go? *Trends Plant Sci* 10: 565-573.
- Song BH, Kim DY, Kim SK, Kim YD, Choi KS. 1988. Distribution of amino acids and fatty acids within the degermed brown rice kernel. *J Korean Agric Chem Soc* 31: 7-12.
- Kim MS, Yang HR, Jeong YH. 2004. Mineral contents of brown and milled rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 443-446.
- Kim SK, Han YI, Kim ES. 1990. Mineral contents of Japonica and J/Indica brown and milled rices. *J Korean Soc Food Nutr* 19: 285-290.

(2009년 9월 29일 접수; 2009년 10월 29일 채택)