무선발 형질전환 *Bt* 벼 현미의 주요 영양성분 분석

우희종^{1*} · 신공식¹ · 임명호¹ · 이진형¹ · 친양¹ · 박순기^{1,2}

¹농촌진흥청 국립농업과학원, ²경북대학교 응용생명과학부

Comparative Nutritional Analysis for Marker-Free Transgenic *Bt* rice and Non-Transgenic Counterparts

Hee-Jong Woo^{1*}, Kong-Sik Shin¹, Myung-Ho Lim¹, Jin-Hyoung Lee¹, Yang Qin¹, and Soon Ki Park^{1,2}

¹National Academy of Agricultural Science, Rural Development Administration, Jeonju, 560-500, Korea

²School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea

Abstract : The selectable marker-free rice plants containing *mcry1Ac* insecticidal gene isolated from *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) were generated using a non-selection approach by *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation. The nutritional composition of two lines of transgenic rice plants (RTB5 and RTB11) was compared with that of its non-transgenic counterpart. The results showed that, except for small differences in dietary fiber and some minerals, there was no significant difference between transgenic rice and conventional counterpart variety with respect to their nutrient composition. Most of measured levels of nutrients were within the range of values reported for other commercial cultivars, showing substantial equivalency. Therefore, the insertion of transgenes did not affect the nutritional composition of transgenic RTB5 and RTB11 rice grains.

Keywords : Compositional analysis, Substantial equivalence, Transgenic rice, Food safety

서 언

생명공학 기술을 이용하여 다른 종에서 분리한 유용형질 유전자를 대상 작물에 도입하여 개발된 유전자변형(Genetically modified, GM) 작물은 작물의 생산성과 환경 저항성을 높일 수 있어 인구증가에 따른 식량부족, 지구 환경의 변화, 그리고 농경지 및 생산성 감소 등의 농업 관련 당면 문제를 극복할 수 있는 대안이 될 수 있다. 유전자변형 작물은 상업적으로 이용되기 시작한 1996년 이후 지난 약 20년간 꾸준한 증가세를 나타내고 있으며, 2013년 기준 27개국 1,800만의 농민이 1억 7,530만 ha 농지면적에서 GM 작물을 재배하고 있다 (James 2013). 우리나라도 가공식품 또는 사료생산을 위해 옥수수, 면실, 대두 등 많은 양의 GM 곡물을 꾸준히 수입되고 있다. 그러나 현재까지 심사승인을 얻어 국내에서 재배되

는 상업용 GM 작물은 없는 실정이다.

농업의 발달로 재배식물의 종류와 품종수가 줄어들고 단순화되었으며, 병해충이 발생하기 쉬운 환경이 만들어졌다. 병해충 방지를 위해 사용하는 가장 일반적으로 방법은 농약의 사용이다. 농약 사용은 병해충 방제 효과는 크지만 주변 생태계에 심각한 환경문제를 야기할 수 있으며 농약을 사용하는 농민 뿐 아니라 일반소비자들에게도 인체 내 농약 성분의 축적으로 해를 줄 수 있다. 또한 농약의 과다사용과 연용은 방제노력과 생산비를 가중시키며, 새로운 종(Type)의 병해충을 분화시킬 수 있다(Damalas & Eleftherohorinos 2011). 따라서 농약의 사용을 줄이고 작물의 병해충 방제를 위해 *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) 유래의 살충성 δ 내독소 단백질을 발현시키는 *cry* 유전자를 작물체 게놈 내로 도입된 여러 종류의 해충저항성 GM 면화와 옥수수가 국외에서 개발되어 상업화되었다(Woo et al. 2009). 국내에서는 식물 내 발현이 증가되도록 유전자 일부를 변형한 *mcry1Ac* 유전자를 낙동벼(*Oryza sativa* subsp. *japonica* cv. Nakdong)에 도입시켜 인시류(Lepidoptera) 흑명나방에 대한 저항성을 가지는 해충저항성

*Corresponding author (E-mail: woo001@korea.kr, Tel: +82-63-238-4706, Fax: +82-63-238-4704)

(Received on February 10, 2015. Revised on March 2, 2015.
Accepted on March 2, 2015.)

Agb0101벼를 개발하여(Kim et al. 2009), 상업화를 위해 환경/식품에 대한 GMO 안전성평가를 실시한 바 있다. 그러나 기능 검정이 완료된 유전자를 이용하여 장기간의 전략적인 상업화 GM 작물 개발 체계를 갖추고 있는 국외의 다국적 회사의 사례와는 달리 유전자 기능 검정 단계에서 사용된 형질 전환 작물을 직접 실용화를 위한 재료로 사용하면서 발생될 수 있는 도입유전자의 분자생물학적 특성 문제 등으로 상업화에는 이르지 못했다.

GM 작물에 대한 선호도 인식이 좋지 않은 국내에서 실용화 GM 작물을 개발하기 위해서는 소비자의 안전성 우려를 덜어줄 수 있는 GMO 안전성 증진 기술을 GM 작물 개발에 적용하는 것도 필요하다. 즉 GM 작물의 형질전환과정에서 필수적으로 사용되는 항생제내성 또는 제초제저항성 선발마커 유전자를 사용하지 않거나 또는 제거하는 선발마커-프리 형질전환기술을 이용하여 GM 작물을 개발하는 방안은 GM 작물의 성공적 상업화를 위한 좋은 선택이 될 수 있다(Woo et al. 2011). 최근 이런 목적으로 기능이 검정된 *mcry1Ac* 유전자를 일미벼에 무선발 형질전환(Selectable marker-less transformation) 방법으로 도입하여 마커프리 Bt 형질전환 벼가 개발되었다(Woo et al. 2013).

형질전환으로 개발된 GM 작물을 상업화하여 재배하거나 식용/사료로 사용하기 위해서는 환경 및 인체에 대한 GM 작물의 영향을 평가하고 검정하는 과정을 거쳐야 한다(Lee et al. 2008). 2003년 국제식량농업기구(FAO)/세계보건기구(WHO)가 설립한 국제식품규격위원회(Codex)는 GM 작물의 평가방법으로 ‘현대 생명공학 유래 식품의 위해성 분석을 위한 지침’ 및 ‘재조합 DNA 식물 유래 식품의 식품안전성 평가 실시를 위한 지침’을 제정하였다. Codex에서 제안된 지침은 GM 식품의 안전성 평가는 절대적인 안전성이 아니라 ‘실질적 동등성’ 개념을 적용하여 기존 식품과의 차이점 및 GM 식품에서 나타날 수 있는 의도적, 비의도적 변화를 평가하자는 내용으로, 주요성분 분석비교는 GM 작물의 실질적 동등성을 확인하는 중요 항목이다.

본 연구에서는 무선발 형질전환 방법으로 개발된 마커프리 Bt 형질전환 벼 2계통(RTB5, RTB11)의 주요 영양성분을 분석하고, 모본 품종인 일미 및 일반벼 품종과의 함량 차이를 비교 분석하여 형질전환 벼의 영양성분에 대한 동등성 여부를 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

식물재료

실험에 사용한 쌀 시료는 국립농업과학원 GMO 격리 포장(경기도 수원시 서둔동 소재)에서 2013년에 재배하여 사용하였다. 영양성분 분석을 위해 사용된 벼 시료는 무선발 형질전환으로 개발되어 *mcry1Ac* 유전자의 염색체내 삽입위치가 다른 GM 벼 2계통(RTB5, RTB11) 및 모본인 일미(*Oryza sativa* subsp. *japonica* cv. Ilmi) 품종이며, 비 형질전환 대조 품종으로 동진벼(*Oryza sativa* subsp. *japonica* cv. Dongjin)를 함께 사용하여 품종 간 성분차이를 확인하였다. 시료는 품종 당 5 반복으로 자연 건조 후 냉동 보관된 벼를 인습기(Ssangyoung mechanic Industry Co, Korea)로 왕겨를 제거하고 현미를 제조하였다. 현미는 Cyclone mixer mill (HMF-590, Hanil, Korea)로 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다.

일반성분 분석

시료에 함유된 수분, 조단백질, 조지방 및 조회분의 함유분 석은 식품공전 중 일반성분 분석법에 따라 분석하였다(KFDA 2011). 수분정량은 상압건조방법으로 105℃에서 건조하여 정량하였고, 조단백질은 세미마이크로 킬달(Semi-micro Kjeldahl) 시험법을 적용하여 단백질 자동분석기(Kjeltec 2400 auto analyzer, Foss Tecator, Sweden)로 분석하였다. 조지방은 Soxhlet 추출기(Soxtec System HT 1043 extraction unit, Foss Tecator, Sweden)를 사용하여 diethyl ether로 추출 정량하였으며, 조회분은 600℃ 직접회화법으로 측정하였고, 조섬유는 1.25% H₂SO₄ 및 NaOH 분해법으로 측정하였다.

아미노산 분석

아미노산 함량은 식품공전의 방법에 따라 시료를 일정량 취하여 6 N HCl 용액을 가하고 질소가스를 주입한 후 110℃에서 24시간 동안 가수분해 시킨 후 로타리 증발기를 이용하여 HCl을 제거하고 증류수로 3회 세척한 다음 감압 농축하여 증류수로 용해한 후 아미노산 자동 분석기(L-8900A, Hitachi, Japan)를 이용하여 제조사의 사용설명서에 의하여 분석하였다.

식이섬유 분석

식이섬유 분석은 AOAC (1990) 분석법에 따라 효소중량법으로 현미 시료를 1 g 정도를 준비 한 후 α -amylase, protease,

그리고 amyloglucosidase 효소를 연속으로 30분간 각각 처리하여 전분과 단백질을 제거하였다. 총 식이섬유는 효소분해물에 녹아 있는 식이섬유를 에탄올로 처리하여 침전시켜 여과하고 세척한 후 건조하여 무게를 측정하였다. 불용성 식이섬유는 효소분해물을 여과하고 잔사를 세척하고 무게를 확인하여 정량하였다. 수용성 식이섬유는 불용성 식이섬유의 전처리과정에서 얻은 여과액과 세척액을 합쳐 에탄올로 침전시킨 후 여과하여 잔류물을 건조시켜 무게를 확인하여 분석하였다. 총 식이섬유, 불용성 및 수용성 식이섬유 함량은 잔사의 무게 중 단백질 및 회분량을 보정하여 계산하였다.

무기물 분석

쌀 시료를 회분도가니에 적당량 취하여 열판으로 예비회화시킨 후 600℃ 전기로에서 2시간 이상 회화시켰다. 이를 냉각하고 염산용액(1 : 1) 10 mL을 가하여 하룻밤 방치 용해시킨 다음 No. 6 여과지를 이용 뜨거운 물로 여과하여 일정량으로 맞춰 Inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES; GBC Integra XL, Australia)에 주입하여 분석하였다. ICP-OES 분석에 사용된 구체적 실험 조건 및 파장 값은 Table 1에 나타내었다.

통계처리

GM 벼와 일반 벼의 영양성분 분석 값은 Microsoft office excel 2007 프로그램을 이용하여 평균 및 표준편차를 계산하였다. 통계처리는 GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, Inc., CA, La Jolla) 프로그램을 사용하여 *t*-test로 $p < 0.05$ 수

준에서 검정하였다.

결과 및 고찰

GM 벼의 동등성 비교는 EFSA (2010) 및 Park et al. (2013)이 제시한 방법에 따라 모본 일미벼와 $p < 0.05$ 수준에서의 *t*-test 검정 결과를 분석하여 확인하고, 통계적 차이가 나타난 성분들은 환경적 영향에 의한 성분함량의 차이를 고려하여 일반 벼 품종인 동진 및 OECD (2004)에서 제시한 일반 벼 영양성분 데이터의 평균 함량범위와 비교 분석하였다.

일반성분

본 실험에서 사용된 무선발 형질전환 *Bt* 벼 RTB5, RTB11 계통과 일미벼, 동진벼 시료의 현미 일반성분 분석 결과는 Table 2와 같다. 형질전환 RTB5와 RTB11 현미의 함량은 각각 조회분 1.29% 및 1.26%, 조단백질 6.96% 및 7.07%, 조지방 1.79% 및 1.71%, 조섬유질 0.54% 및 0.59%로 모본인 일미벼의 평균 조회분 함량 1.28%, 조단백질 6.81%, 조지방 1.91%, 조섬유질 0.54%와 유사하였다.

식이섬유(Dietary fiber) 함량은 RTB11 현미에서는 불수용성식이섬유 5.27%, 수용성식이섬유 0.32%, 전체 식이섬유 5.58%로 모본인 일미벼의 불수용성식이섬유 5.45%, 수용성식이섬유 0.40%, 전체 식이섬유 5.84% 함량과 유사했지만, RTB5 현미에서는 불수용성식이섬유 4.83%, 수용성식이섬유 0.14%, 전체 식이섬유 4.97%로 모본인 일미벼와 유의적인 차이($p < 0.05$)를 보였다. 그러나 RTB5에서의 식이섬유 함량

Table 1. Analytical conditions for inductively coupled plasma optical emission spectrometer.

Optimization Parameters				
Nebuliser Flow (L/min)		0.2-0.9		
RF Power (W)		800-1200		
Viewing Height (mm)		6-18		
Auxiliary Gas (L/min)		0.5-1.0		
Plasma Gas (L/min)		10-13		
Peristaltic Pump(rmp)		10-30		
Wavelength (nm)				
Calcium	393.366	Phosphorus	213.618	
Potassium	769.896	Sodium	588.995	
Iron	259.940	Magnesium	279.353	
Copper	324.754	Manganese	257.610	
Zinc	213.856	Sulfur	180.600	

은 대조품종으로 사용된 동진의 불수용성식이섬유 4.42%, 수용성식이섬유 0.17%, 전체 식이섬유 4.60%와 유사했다. 따라서 RTB5의 식이섬유 함량은 국내산 일반 벼 현미의 식이섬유 함량 범위 내에 있는 것으로 보이며 도입유전자의 삽입에 성분변화는 아닌 것으로 분석되었다.

무기질 조성

무선발 형질전환 *Bt* 벼 현미와 non-GM 벼 현미의 무기질 원소에 대한 함량을 분석한 결과는 Table 3와 같다. 벼 현미의 무기물 함량은 비료 등의 재배 조건에 매우 큰 영향을 받

는다(OECD 2004). RTB5 현미의 무기질 분석결과 Ca, P, Na, Mg, Cu, Mn, Zn 함량은 모본벼 일미의 무기질 함량과 유사했지만 K, Fe, S 함량은 모본과 유의적 차이를 나타냈다. 또한 RTB11 현미에서는 Ca, Na, Fe, Cu, Mn, Zn 함량은 일미 모본벼와 동등했지만 P, K, Mn, S 함량에서 유의적 차이($p<0.05$)를 보였다. 그러나 형질전환 RTB5 및 RTB11 계통에서 유의적 차이를 보인 무기질들의 함량은 OECD (2004)에서 제시한 벼 현미의 무기질 함량 값 범위 안에 포함되는 수치이며 이전 연구결과에서도 여러 차례 함량 차가 보고된 바 있다(Choi et al. 2012, Lee et al. 2010, Lee et al. 2014,

Table 2. Comparison and analysis of the Proximate compositions (% , d.b.) in brown rice samples.

Component (% , d.b.) ^z	Non-GM		GM		Literature (OECD 2004)
	Ilmi ^y	Dongjin	RTB5	RTB11	
Moisture	11.20 ± 0.40	10.67 ± 0.62	11.14 ± 0.20 ^a	11.20 ± 0.40 ^a	10 – 19
Crude ash	1.28 ± 0.07	1.09 ± 0.03	1.29 ± 0.09 ^a	1.26 ± 0.06 ^a	1.0 – 1.5
Crude protein	6.81 ± 0.37	6.30 ± 0.31	6.96 ± 0.53 ^a	7.07 ± 0.30 ^a	7.1 – 8.3
Crude lipid	1.91 ± 0.24	1.94 ± 0.18	1.79 ± 0.15 ^a	1.71 ± 0.19 ^a	1.6 – 2.8
Crude fiber	0.49 ± 0.10	0.47 ± 0.08	0.54 ± 0.12 ^a	0.59 ± 0.15 ^a	0.6 – 1.0
<i>Dietary Fiber</i>					
Insoluble	5.45 ± 0.26	4.42 ± 0.33	4.83 ± 0.35 ^b	5.27 ± 0.27 ^a	2.3
Soluble	0.40 ± 0.07	0.17 ± 0.07	0.14 ± 0.08 ^c	0.32 ± 0.12 ^a	0.7
Total	5.84 ± 0.26	4.60 ± 0.33	4.97 ± 0.30 ^c	5.58 ± 0.31 ^a	3.0

^a, ^b, and ^c stand for not significant, and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

^zValues are means and standard deviations of quintuplicate analyses

^yNon-transgenic cultivar of GM rice

Table 3. Comparison and analysis of the minerals in brown rice samples.

Component ^z	Non-GM		GM		Literature (OECD 2004)
	Ilmi ^y	Dongjin	RTB5	RTB11	
Calcium, mg/g	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.02 ^a	0.13 ± 0.02 ^a	0.1 – 0.6
Magnesium, mg/g	1.09 ± 0.14	1.20 ± 0.09	1.21 ± 0.06 ^a	1.36 ± 0.17 ^b	0.2 – 1.7
Phosphorus, mg/g	4.10 ± 0.37	4.08 ± 0.03	4.10 ± 0.18 ^a	4.78 ± 0.52 ^b	2 – 5
Potassium, mg/g	2.58 ± 0.35	3.00 ± 0.27	3.10 ± 0.18 ^b	3.16 ± 0.24 ^b	0.7 – 3.2
Sulfur, mg/g	1.16 ± 0.04	1.10 ± 0.03	1.36 ± 0.03 ^c	1.25 ± 0.05 ^b	0.3 – 2.2
Copper, µg/g	5.74 ± 0.52	6.22 ± 0.60	5.90 ± 0.70 ^a	5.26 ± 0.67 ^a	1 – 7
Iron, µg/g	18.32 ± 2.93	15.40 ± 1.60	12.64 ± 0.14 ^c	18.74 ± 3.79 ^a	2 – 60
Manganese, µg/g	25.82 ± 3.52	26.38 ± 2.04	29.72 ± 3.10 ^a	29.04 ± 4.65 ^a	2 – 42
Sodium, µg/g	78.56 ± 48.22	120.20 ± 13.33	30.36 ± 2.56 ^a	105.32 ± 20.96 ^a	20 – 400
Zinc, µg/g	31.00 ± 4.63	32.92 ± 16.85	26.42 ± 0.59 ^a	26.38 ± 2.17 ^a	7 – 33

^a, ^b, and ^c stand for not significant, and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

^zValues values are means and standard deviations of quintuplicate analyses

^yNon-transgenic cultivar of GM rice

Oberdoerfer et al. 2005, Xin et al. 2008). 따라서 이러한 무기질 함량 변화는 *Bt* 유전자의 도입 효과가 아닌 재배 환경 및 토양성분의 차이에서 기인된 것으로 사료된다.

아미노산 조성

벼는 라이신 및 황 포함 아미노산 함량이 높아 밀, 옥수수 같은 다른 주곡 작물보다 아미노산 함량의 균형이 높다는 보고가 있다(OECD 2004). 아미노산 자동 분석기를 이용하여 GM 벼와 일반 벼 현미에 포함된 17종 아미노산 함량 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전체적으로 두 계통의 GM 현미와 일반 품종에 함유된 아미노산은 glutamic acid와 aspartic acid와 같은 산성아미노산 함량이 높았으며 histidine, methionine, cystein 함량은 낮아 국내 품종의 아미노산 함량을 분석한 이전의 결과(Song et al. 1988)와 거의 유사하였다. 동등성 측면에서는 RTB5 및 RTB11 두 계통 모두 모본벼 일미의 17종 아미노산 함량과 비교하여 통계적으로 유의한 차이는 없었으며 OECD에서 제시한 아미노산 평균 함량과도 유사했다.

적 요

본 연구는 *Bacillus thuringiensis* 유래의 살충성 *mCry1Ac* 유전자를 무선발 형질전환 방법으로 일미 벼에 도입하여 개발된 마커프리 형질전환 *Bt* 벼 2계통의 일반성분 및 주요성분(무기질, 아미노산) 함량을 확인하여 모본벼 및 다른 일반품종과 함량차이를 비교 분석 함으로서 형질전환 벼의 영양성분 동등성 여부를 확인하고자 수행되었다. 영양성분 분석결과 GM 벼 현미의 일반성분 조성 중 식이섬유 함량과 일부 무기질 함량이 모본 벼인 일미와 비교하여 다소 유의적 차이가 있었지만 일반품종에서 나타나는 함량범위 안에 포함되는 수치이며, 아미노산 성분과 대부분의 일반성분 및 무기질의 함량은 전반적으로 모본과 유의적 차이가 없었다. 따라서 형질전환 벼에서 관찰된 일부 성분 차이는 *Bt* 유전자의 도입 효과가 아닌 재배 환경 및 토양성분의 차이에서 기인된 것으로 형질전환에 의한 비의도적 영양성분 변화는 없는 것으로 판단된다.

Table 4. Comparison and analysis of the amino acids^z in brown rice samples.

Component (% protein) ^z	Non-transgenic		Transgenic		Literature (OECD)
	Ilmi ^y	Dongjin	RTB5	RTB11	
Alanine	6.10 ± 0.30	6.03 ± 0.22	6.08 ± 0.26 ^a	6.14 ± 0.26a	5.8
Arginine	8.16 ± 0.45	8.70 ± 0.38	7.92 ± 0.39 ^a	7.99 ± 0.28a	8.5–10.5
Aspartic acid	9.71 ± 0.62	9.86 ± 0.40	9.43 ± 0.55 ^a	9.64 ± 0.34a	9.0, 9.5
Cysteine	2.68 ± 0.12	2.68 ± 0.08	2.80 ± 0.10 ^a	2.86 ± 0.18a	2.2–2.4
Glutamic acid	18.46 ± 1.04	17.49 ± 1.12	18.77 ± 1.18 ^a	18.71 ± 0.82a	16.9, 17.6
Glycine	4.92 ± 0.24	5.15 ± 0.18	4.84 ± 0.18 ^a	4.89 ± 0.21a	4.7, 4.8
Histidine	2.63 ± 0.14	2.68 ± 0.13	2.51 ± 0.12 ^a	2.57 ± 0.05a	2.4, 2.6
Isoleucine	3.75 ± 0.12	3.74 ± 0.19	3.78 ± 0.23 ^a	3.62 ± 0.14a	3.6–4.6
Leucine	8.50 ± 0.43	8.26 ± 0.33	8.45 ± 0.51 ^a	8.49 ± 0.35a	8.3–8.9
Lysine	4.04 ± 0.18	4.38 ± 0.25	3.98 ± 0.13 ^a	3.95 ± 0.13a	3.9, 4.3
Methionine	2.60 ± 0.14	2.54 ± 0.08	2.75 ± 0.13 ^a	2.69 ± 0.12a	2.3, 2.5
Phenylalanine	5.35 ± 0.27	5.25 ± 0.23	5.31 ± 0.33 ^a	5.32 ± 0.20a	5.0, 5.3
Proline	4.66 ± 0.44	4.91 ± 0.21	4.49 ± 0.24 ^a	4.70 ± 0.37a	4.8, 5.1
Serine	5.52 ± 0.38	5.34 ± 0.32	5.48 ± 0.33 ^a	5.54 ± 0.30a	4.8–5.8
Threonine	3.90 ± 0.19	3.91 ± 0.19	3.91 ± 0.18 ^a	3.89 ± 0.18a	3.9–4.0
Tyrosine	3.46 ± 0.37	3.50 ± 0.25	3.73 ± 0.27 ^a	3.67 ± 0.41a	3.8–4.6
Valine	5.58 ± 0.19	5.57 ± 0.27	5.57 ± 0.27 ^a	5.34 ± 0.18a	5.0–6.6

^a, ^b, and ^c stand for not significant, and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively

^zValues values are means and standard deviations of quintuplicate analyses

^yNon-transgenic cultivar of GM rice

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구 개발사업(과제번호: PJ010902, PJ008545)의 지원에 의해 이루어진 것임.

REFERENCES

1. AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
2. Choi H, Moon JK, Park BS, Park HW, Park SY, Kim TS, Kim DH, Ryu TH, Kweon SJ, Kim JH. 2012. Comparative nutritional analysis for genetically modified rice, iksan483 and milyang204, and nontransgenic counterparts. J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem. 55: 19-26.
3. Damalas CA, Eleftherohorinos IG. 2011. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. Int. J. Environ. Res. Pub. Health 8: 1402-1419.
4. EFSA. 2010. Scientific opinion on statistical considerations for the safety evaluation of GMOs. EFSA J. 8: 1250-1259.
5. James C. 2013. Global Status of Commercialized Biotech/ GM Crops: 2013. ISAAA Brief No. 46. ISAAA. Ithaca, NY.
6. KFDA. 2011. Korean Food Standards Codex. Korea Food & Drug Administration. Chungwon, Korea.
7. Kim EH, Suh SC, Park BS, Shin KS, Kweon SJ, Han EJ, Park SH, Kim YS, Kim JK. 2009. Chloroplast-targeted expression of synthetic cry1Ac in transgenic rice as an alternative strategy for increased pest protection. Planta 223: 397-405.
8. 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.
9. Lee SY, Park SY, Shin KS, Lee JH, Lim MH, Lee SM, Oh SW, Jeong EG, Yeo Y. 2014. Analysis of key nutrients and anti-nutrients in insect-resistant transgenic rice. Korean J. Breed. Sci. 46: 400-407.
10. Lee YT, Kim JK, Ha SH, Cho HS, Suh SC. 2010. Analyses of nutrient composition in genetically modified β -carotene biofortified rice. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 39: 105-109.
11. Oberdoerfer RB, Shillito RD, Beuckeleer MD, Mitten DH. 2005. Rice (*Oryza sativa* L.) containing the bar gene is compositionally equivalent to the nontransgenic counterpart. J. Agri. Food Chem. 53: 1457-1465.
12. OECD. 2004. Series on the safety of novel food and feed No. 10. consensus document on compositional considerations for new varieties of rice (*Oryza sativa*): key food and feed nutrients and anti-nutrients. OECD. Paris, France.
13. Park SY, Lee SM, Yeo Y, Kweon SJ, Cho HS, Kim JK. 2013. Comparison of the nutritional compositions of insect-resistant and glufosinate-tolerant rice and conventional rice. J. Appl. Biol. Chem. 56: 5-9.
14. 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.
15. Woo HJ, Chung CH, Shin KS, Ji HS, Lee KJ, Suh SC, Kweon SJ, Cho YG. 2009. A survey of the genetic components introduced into approved GM crops. J. Plant Biotechnol. 36: 106-114.
16. Woo HJ, Lee SB, Lim MH, Lee JH, Shin KS, Cho HY. 2013. Transgene structures of marker-free transgenic *Bt* rice plants. J. Plant Biotechnol. 40: 135-140.
17. Woo HJ, Suh SC, Cho YG. 2011. Strategies for developing marker-free transgenic plants. Biotechnol. Bioprocess Eng. 16: 1053-1064.
18. Xin L, Xiaoyun H, Yunbo L, Guoying X, Xianbin J, Kunlun H. 2008. Comparative analysis of nutritional composition between herbicide-tolerant rice with bar gene and its non-transgenic counterpart. J. Food Compos. Anal. 21: 535-539.