

산화 스트레스 내성 형질전환 벼 현미의 주요 영양성분 분석

우희종 · 신공식 · 임명호 · 박순기

Comparison of the nutritional compositions of oxidative stress-tolerant transgenic rice and conventional rice

Hee-Jong Woo · Kong-Sik Shin · Myung-Ho Lim · Soon Ki Park

Received: 25 September 2014 / Revised: 27 October 2014 / Accepted: 27 October 2014
© Korean Society for Plant Biotechnology

Abstract Nutritional assessment of transgenic crops to improve safety evaluations is important for food production. An oxidative stress-tolerant rice was generated by stable insertion of the *TC* gene—a tocopherol cyclase isolated from tobacco—into the genome of a common variety of *japonica* colored rice. The nutritional composition of the brown rice grains from the transgenic TC line was compared with that of the parental rice cultivar Heugnambyeo and two different varieties of non-transgenic rice. The results indicate that the analyzed nutritional compositions of the brown grains from the transgenic TC line were within the range of values reported for other commercial lines, and measurements of nutritional compositions were equivalent to those of the non-transgenic rice.

Keywords Compositional analysis, Substantial equivalence, Transgenic rice food safety

서론

기존 작물에 생명공학 기술을 이용하여 다른 종에서 분리한 유용유전자를 도입시켜 개발된 유전자변형(Genetically Modified, GM) 작물은 미래의 식량문제를 해결할 수 있는

대안으로 떠오르고 있다. 유전자변형 작물은 적은 노동력과 생산비용으로 수확량을 높일 수 있어 상업적으로 이용되기 시작한 이래 지난 20년간 급속한 증가세를 보이고 있다. 재배면적은 2013년 기준으로 처음 상업화 된 1996년 대비 100배 이상 증가된 1억 7,530만 ha로 확대되었고, 27개국에서 1,800만 농민이 GM 작물을 재배하고 있다(James 2013). 우리나라도 식용 또는 사료 생산을 위해 옥수수, 면실, 대두 등 많은 양의 GM 곡물이 꾸준히 수입되고 있다. 그러나 GM 작물의 안전성에 관련된 우려는 꾸준히 제기되고 있다. 1993년 경제협력개발기구(OECD)는 GMO 안전성 평가기준으로 기존 동일 작물을 비교대상으로 삼아 평가하고자 하는 ‘실질적 동등성’ 개념을 도입하였다. 또한 2003년 국제식량농업기구(FAO)/세계보건기구(WHO)가 설립한 국제식품규격위원회(Codex)는 ‘현대 생명공학에서 유래 식품의 위해성 분석을 위한 지침’ 및 ‘재조합 DNA 식물 유래 식품의 식품안전성 평가 실시를 위한 지침’을 제정하였다. Codex에서 만든 지침은 GM 식품의 안전성 평가는 절대적인 안전성이 아니라 ‘실질적 동등성’ 개념을 적용하여 기존 식품과의 차이점을 평가하여 GM 식품에서 나타날 수 있는 의도적, 비의도적 변화를 평가하자는 내용으로, GM 작물의 성분 분석 비교도 실질적 동등성의 확인을 위한 중요 항목이다.

쌀은 아시아 국가를 포함해 세계적으로 중요한 주곡작물이다. 그러나 전 세계적 확산일로에 있는 기후변화는 우리나라에서도 벼 생산 수량에 부정적 영향을 미쳐 현재 기술로 벼를 재배할 경우 향후 생산량 감소가 예상된다. 따라서 고온 및 건조에 내성을 가지는 품종의 육성이 필요하다. 외국의 경우 다국적 종자회사인 몬산토에서 개발된 가뭄저항성 옥수수가 미농무성(USDA)의 안전성 심사를 통과하여 2013년부터 미국의 가뭄지역에서 재배되고 있다. 또한 국내의 가뭄저항성 작물 개발 연구도 다

H.-J. Woo (✉) · K.-S. Shin · M.-H. Lim · S. K. Park
농촌진흥청 국립농업과학원 생물안전성과
(Biosafety Division, National Academy of Agricultural Science,
Rural Development Administration (RDA), Jeonju, 560-500, Korea)
e-mail: woo001@korea.kr

S. K. Park
경북대학교 응용생명과학부
(School of Applied Biosciences, Kyungpook National
University, Daegu, 702-701, Korea)

양한 종류의 작물을 이용하여 활발하게 진행되고 있다. 최근 유색미 품종인 흑남벼를 모 품종으로 담배에서 분리한 토코페롤 합성 관련 유전자 tocopherol cyclase (TC)를 생명공학기술로 도입하여 토코페롤 함량 증가로 내건성이 향상된 벼 개발에 대한 연구가 보고되었다(Woo et al. 2014). 비타민E로 더 많이 알려진 토코페롤은 수용성 지질 항산화물질로 광합성세균과 식물 등에서 만들어진다. 토코페롤의 생리기능은 생식기능 및 근 기능 유지, 항산화기능에 관여하며 부족하면 생식기능저하, 빈혈, 근육 위축 현상 등이 일어나지만 다른 지용성 비타민에 비해 상대적으로 독성이 낮아 과잉증은 잘 나타나지 않는다(Machlin et al. 1977; Yokota et al. 2001; Azzi 2007). 또한 토코페롤의 식물체에서의 기능은 스트레스 환경에서 생체 내 산소분자로부터 만들어지는 활성산소종(Reactive oxygen species, ROS) 해독에 관여하여 건조, 염 등에 의한 산화스트레스에 대한 보호를 하는 것으로 알려져 있다(Collakova and DellaPenna 2003; Kanwischer et al. 2005; Abbasi et al. 2007).

2004년 국제개발협력기구(OECD)는 신품종 벼의 안전성을 일반 벼와 실질적 동등성 개념에서 비교/평가하기 위해 벼 성분에 함유된 주요 영양소와 항 영양소 함량을 확인하고 평가기준으로 제안한 바 있다(OECD, 2004). 본 연구에서는 국내 개발된 토코페롤 증진 형질전환 벼 현미의 주요 영양성분을 분석하고 OECD 표준기술서에 기술된 지침에 따라 형질전환으로 도입된 TC 유전자의 도입효과를 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

식물재료

실험에 사용된 재료는 2013년 수원 GMO 격리포장에서 재배하여 수확한 유전자변형 TC 형질전환 벼와 모품종인 흑남벼(*Oryza sativa* subsp. *japonica* cv. Heugnabyeol)를 사용하였다. 또한 비 형질전환 대조 품종으로 일미벼(*Oryza sativa* subsp. *japonica* cv. Ilmi)와 동진벼(*Oryza sativa* subsp. *Japonica* cv. Dongjin)를 함께 사용하여 품종 간 성분차이를 확인하였다. 시료는 품종 당 5 반복으로 건조 후 냉동보관된 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 함유

분석은 식품공전 중 일반성분 분석법에 따라 분석하였다(KFDA 2011). 수분정량은 상압건조방법으로 105°C에서 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°C 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°C에서 24 시간 동안 가수분해 시킨 후 로타리 증발기를 이용하여 HCl을 제거하고 증류수로 3 회 세척한 다음 감압 농축하여 증류수로 용해한 후 아미노산 자동 분석기(L-8900A, Hitachi, Japan)를 이용하여 제조사의 사용 설명서에 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 단백질 등을 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 예비회화 시킨 후 600°C 전기로에서 2 시간 이상 회화시켰다. 이를 방냉하고 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 구체적인 실험 조건 및 파장 값은 Table 1로 나타내었다.

Table 1 Analytical conditions for ICP-OES

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

통계처리

GM 벼와 대조벼의 영양성분 분석값은 Microsoft office excel 2007 프로그램을 이용하여 평균 및 표준편차를 계산하였다. GM 벼의 동등성 비교는 모본 흑남벼와 $p < 0.05$ 수준에서의 t-test 검정 결과와 비 형질전환 대조품종의 함량 평균 및 OECD의 표준기술서에 제시된 분석 데이터를 비교하여 평균 함량범위에 포함되는 경우에 동등한 것으로 판단하였다.

결과 및 고찰

쌀은 아시아 국가를 포함해 세계적으로 중요한 주곡작물로 수요는 매년 꾸준히 증가하고 있지만 재배면적은 수요증가를 따라가지 못하고 있다(USDA 2014). 따라서 생

산량 증대를 위해 생명공학 기술을 이용한 GM 벼를 개발하는 방안은 미래 식량문제 해결을 위한 좋은 해법이 될 것이라 전망된다.

GM 벼의 실질적 동등성 평가는 벼 품종간의 환경적 성분함량의 차이를 고려하여 GM 벼 현미의 성분량을 일차적으로 형질전환 모본으로 사용된 흑남벼와 비교하고, 통계적 차이가 나타난 성분들은 국내 일반품종인 동진벼, 일미벼를 이용한 분석값 및 OECD에서 제시한 일반 벼 영양성분 데이터에 비교하여 평균 함량범위에 포함되는 경우 생물학적 동등성이 있는 것으로 판단하였다.

일반성분

유전자변형 GM 벼와 비 형질전환 모본 벼인 흑남벼 및 대조벼로 사용된 동진벼, 일미벼의 현미 일반성분 분석 결과는 Table 2에 나타내었다. 형질전환 된 GM 벼 현미의 조지방과 조섬유 함량은 각각 1.95%와 0.89%로 모본인 흑남벼와 통계적 차이는 나타나지 않았다. GM벼의 수분 함량, 조회분, 조단백질 함량은 각각 12.09%, 1.50%, 및 8.38%로 모본인 흑남벼에 비교해 유의성 있는 차이를 보였고 일반 벼 품종인 일미와 동진벼에 비교해서도 비교적 높은 함량을 나타냈다. 그러나 GM 벼에서 분석된 수분, 조회분, 조단백질 함량 평균 모두는 OECD 표준기술서에 제시된 일반 벼의 성분 함량범위 내에 포함되는 수치였다. 국내 쌀 품종의 일반성분 함량은 쌀 재배지역 등 환경적인 요인에 따라 다소 차이가 발생할 수 있으며 현미는 조회분 1.2~1.5%, 조단백질 6.2~9.1% 범위 결과로 보고된 바 있다(Choe et al. 2002; Kyoum et al. 2006). 따라서 분석에 사용된 GM 벼의 일반성분 함량은 국내산 일반 벼의 함량 범위 내에 있으며 모본과의 차이는 재배 환경 및 건조과정 등의 차이로 발생된 것으로 판단된다.

Table 2 Proximate compositions (% d.b.)¹⁾ of drought-tolerance GM TC line and non-GM rice in brown rice

Component (% d.b.)	Non-GM			GM	Ref. ranges (OECD)	Analysis of equivalence
	Heugnam ²⁾	Ilmi	Dongjin			
Moisture	10.68±0.27	11.20±0.40	10.67±0.62	12.09±0.22 ^c	10-19	yes
Crude ash	1.22±0.10	1.28±0.07	1.09±0.03	1.50±0.13 ^c	1.0-1.5	yes
Crude protein	7.10±0.51	6.81±0.37	6.30±0.31	8.38±0.75 ^b	7.1-8.3	yes
Crude lipid	1.89±0.36	1.91±0.24	1.94±0.18	1.95±0.33 ^a	1.6-2.8	yes
Crude fiber	0.69±0.11	0.49±0.10	0.47±0.08	0.89±0.16 ^a	0.6-1.0	yes
<i>Dietary Fiber</i>						
Insoluble	6.25±0.32	5.45±0.26	4.42±0.33	5.97±0.04 ^c	2.3	yes
Soluble	0.33±0.14	0.40±0.07	0.17±0.07	0.24±0.03 ^a	0.7	yes
Total	6.58±0.26	5.84±0.26	4.60±0.33	6.21±0.02 ^b	3.0	yes

¹⁾Values are means and standard deviations of quintuplicate analyses.

²⁾Parental cultivar of GM rice.

^(a) P value > 0.05, ^(b) $0.05 \geq P$ value > 0.01, ^(c) $0.01 \geq P$ value > 0.001.

식이섬유 함량분석 결과에서는 형질전환 GM 벼 현미의 수용성 식이섬유 함량은 모본과 유의성 있는 차이가 없는 반면, 불용성 및 총 식이섬유 함량은 모본에 비해 다소 낮게 분석되었다. 그러나 대조벼인 일미벼, 동진벼 및 OECD 표준기술서에 제시된 식이섬유의 함량보다는 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 GM 벼의 불용성 및 총 식이섬유 함량 변화가 형질전환에 의한 생물학적 차이로는 보이지 않는다.

무기질 조성

GM 벼 현미와 일반 벼 현미의 무기질 조성에 대한 함량 분석결과는 Table 3에 나타내었다. GM 현미와 일반벼 현미의 무기물 함량 결과 인(P), 칼륨(K) 및 마그네슘(Mg) 함량이 높아 주 무기질 조성성분임이 확인되었다. 또한 나트륨(Na) 성분의 경우 같은 품종에서도 분석된 시료에 따라 높은 편차를 보였지만 OECD 표준기술서에 제시된 함량범위 안에 포함되는 수치였다. 동일 품종의 무기질 함량 차이는 이전의 연구결과에서도 발표된 바 있으며 재배지의 토양 및 비료 등의 재배환경에 의한 영향으로 판단된다(Choe et al. 2002; Kim et al. 2004).

GM 벼 현미에서 분석된 칼슘, 인, 칼륨, 나트륨, 철, 마그네슘, 구리, 망간, 아연, 황에 대한 무기질 성분 중 구리(Cu)를 제외한 모든 무기질 함량은 흑남벼 모본과 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않아 무기질 조성이 모본벼와 동등한 것으로 분석되었다. 구리 함량은 GM 벼에서 4.82 ug/g로 분석되어 모본함량(6.52 ug/g)과 비교하여 통계적인 차이가 발생했지만, OECD 표준기술서에 제시한 벼의 함량범위인 1~7 ug/g 범위 내에 있고 대조품종인 일미벼 함량과 비교해도 큰 차이가 없어 품종 변이

에 의한 차이는 아닌 것으로 판단된다.

아미노산 조성

아미노산 자동 분석기를 이용하여 GM 벼와 일반 벼 현미에 포함된 17종 아미노산 함량 분석 결과는 Table 4에 나타내었다. 전체적으로 GM 현미와 일반 품종에 함유된 아미노산은 glutamic acid과 aspartic acid와 같은 산성아미노산의 함량이 높았으며 histidine, methionine 및 cystein 함량은 낮아, 국내 품종의 아미노산 함량을 분석한 이전의 보고(Song et al. 1988)와 거의 유사하였다. 동등성 측면에서는 GM 벼와 모본 벼 현미의 17종 아미노산 함량 분석 결과 GM 벼에서 분석된 모든 아미노산의 함량 값이 모본인 흑남벼의 함량과 비교하여 통계적 유의한 차이를 발견할 수 없었으며 OECD에서 제시한 아미노산 함량과도 일치하는 결과로 GM 벼의 아미노산 함량은 모본벼와 동등한 것으로 판단되었다.

GM 작물의 상업화를 위해서는 식품 및 환경에 대한 영향을 평가하기 위한 GMO 안전성평가를 실시해야 하며, 영양성분 분석은 도입유전자의 작물 세포내 삽입으로 인한 식품 및 사료의 영향을 평가하기 위한 필수항목이다. GM 작물의 식품 안전성 평가는 주요 및 미량 영양 성분 함량 분석하고 실질적 동등성에 차이가 있을 경우 독성, 알레르기 유발 가능성 등을 평가해야 한다(Lee et al. 2008). 현재까지 국내에서 재배 승인되어 상업화 된 GM 벼 사례는 없지만, 안전성평가를 위해 GM 벼와 모본 벼 간의 영양성분 조성을 분석하고 영양학적 동등성을 확인한 여러 연구결과가 국내에서도 보고되었다(Lee et al. 2010, 2013; Choi et al. 2012; Park et al. 2013). 본 연구도 GM 벼의 상업화를 위한 안전성평가의 개념에서 GM 벼

Table 3 Mineral contents¹⁾ of drought-tolerance GM TC line and non-GM rice in brown rice

Component (mg/g, d.b.)	Non-GM			GM	Ref. range (OECD)	Analysis of equivalence
	Heugnam ²⁾	Ilmi	Dongjin			
Calcium, mg/g	0.15±0.02	0.11±0.01	0.13±0.01	0.14±0.01 ^a	0.1-0.6	yes
Phosphorus, mg/g	4.59±0.22	4.10±0.37	4.08±0.29	4.89±0.34 ^a	2-5	yes
Potassium, mg/g	3.17±0.23	2.58±0.35	3.00±0.27	3.14±0.21 ^a	0.7-3.2	yes
Sodium, µg/g	379.86±375.33	78.56±48.22	120.20±13.33	116.00±46.32 ^a	20-400	yes
Iron, µg/g	17.30±3.23	18.32±2.93	15.40±1.60	15.62±1.64 ^a	2-60	yes
Magnesium, mg/g	1.42±0.06	1.09±0.14	1.20±0.09	1.46±0.14 ^a	0.2-1.7	yes
Copper, µg/g	6.52±0.68	5.74±0.52	6.22±0.60	4.82±0.61 ^c	1-7	yes
Manganese, µg/g	36.98±2.86	25.82±3.52	26.38±2.04	34.48±4.34 ^a	2-42	yes
Zinc, µg/g	26.48±4.03	31.00±4.63	32.92±16.85	27.44±2.81 ^a	7-33	yes
Sulfur, mg/g	1.30±0.07	1.16±0.04	1.10±0.03	1.39±0.06 ^a	0.3-2.2	yes

¹⁾Values are means and standard deviations of quintuplicate analyses.

²⁾Parental cultivar of GM rice.

^(a)P value > 0.05, ^(b)0.05 ≥ P value >0.01, ^(c)0.01 ≥ P value > 0.001.

Table 4 Amino acid contents of drought-tolerance GM TC line and non-GM rice in brown rice

Component (mg/g, d.b.)	Non-GM			GM	Ref. range (OECD)	Analysis of equivalence
	Heugnam ²⁾	Ilmi	Dongjin			
Alanine	6.02±0.36	6.10±0.30	6.03±0.22	6.14±0.16 ^a	5.8	yes
Arginine	8.39±0.48	8.16±0.45	8.70±0.38	8.47±0.39 ^a	8.5-10.5	yes
Aspartic acid	9.66±0.62	9.71±0.62	9.86±0.40	9.93±0.31 ^a	9.0, 9.5	yes
Cysteine	2.60±0.12	2.68±0.12	2.68±0.08	2.52±0.09 ^a	2.2-2.4	yes
Glutamic acid	17.82±1.37	18.46±1.04	17.49±1.12	17.79±0.39 ^a	16.9, 17.6	yes
Glycine	4.94±0.27	4.92±0.24	5.15±0.18	4.95±0.14 ^a	4.7, 4.8	yes
Histidine	2.69±0.17	2.63±0.14	2.68±0.13	2.70±0.08 ^a	2.4, 2.6	yes
Isoleucine	3.76±0.24	3.75±0.12	3.74±0.19	3.60±0.16 ^a	3.6-4.6	yes
Leucine	8.57±0.63	8.50±0.43	8.26±0.33	8.57±0.26 ^a	8.3-8.9	yes
Lysine	4.15±0.27	4.04±0.18	4.38±0.25	4.19±0.22 ^a	3.9, 4.3	yes
Methionine	2.45±0.17	2.60±0.14	2.54±0.08	2.33±0.06 ^a	2.3, 2.5	yes
Phenylalanine	5.31±0.40	5.35±0.27	5.25±0.23	5.28±0.16 ^a	5.0, 5.3	yes
Proline	4.95±0.32	4.66±0.44	4.91±0.21	4.85±0.16 ^a	4.8, 5.1	yes
Serine	5.45±0.34	5.52±0.38	5.34±0.32	5.50±0.12 ^a	4.8-5.8	yes
Threonine	3.89±0.24	3.90±0.19	3.91±0.19	3.91±0.11 ^a	3.9-4.0	yes
Tyrosine	3.76±0.34	3.46±0.37	3.50±0.25	3.96±0.50 ^a	3.8-4.6	yes
Valine	5.56±0.36	5.58±0.19	5.57±0.27	5.32±0.21 ^a	5.0-6.6	yes

¹⁾Values are means and standard deviations of quintuplicate analyses.

²⁾Parental cultivar of GM rice.

^(a) P value > 0.05, ^(b) $0.05 \geq P$ value > 0.01, ^(c) $0.01 \geq P$ value > 0.001.

현미와 모본 및 대조품종과의 영양성분을 비교한 결과 형질전환과정의 도입유전자 효과로 인한 영양성분 차이는 확인되지 않았다.

(과제번호: PJ008545) 및 차세대바이오그린21사업 분자육종사업단의 공동연구 사업(과제번호: PJ008021)의 연구지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

적 요

본 연구는 국내에서 개발된 토코페롤 합성 TC 유전자가 형질전환 된 GM 벼와 그 모본인 흑남벼 및 일반벼 품종인 일미벼, 동진벼 현미의 일반성분, 무기질 및 아미노산 함량을 분석하여 조성 차이가 있는지를 비교하였다. 모본벼인 흑남벼와 비교하여 GM 벼 현미의 일반성분 조성 중 수분 함량과 조회분 및 단백질이 다소 높았지만 기존에 보고된 일반품종 벼 현미의 성분함량 범위 안에 포함되었다. 또한 GM 벼 현미에 포함된 아미노산 함량과 무기질 함량은 전반적으로 모본벼과 유의적 차이가 없었다. 따라서 본 실험에 사용된 GM 벼는 유전자 형질전환에 의한 비의도적 영양성분 변화는 없는 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원의 기관고유 사업

References

- Abbasi AR, Hajirezaei M, Hofius D, Sonnewald U, Voll LM (2007) Specific roles of α - and γ -tocopherol in abiotic stress responses of transgenic tobacco. *Plant Physiol* 143:1720-1738
- AOAC (1990) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Azzi A (2007) Molecular mechanism of alpha-tocopherol action. *Free Radic Biol Med* 43:16-21
- Choe JS, Ahn HH, Nam HJ (2002) Comparison of nutritional composition in Korean rices. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31:885-892
- 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 milyang 204, and nontransgenic counterparts. *J Korean Soc Appl Biol Chem* 55:19-26
- Collakova E, DellaPenna D (2003) The role of homogentisate phytyltransferase and other tocopherol pathway enzymes in

- the regulation of tocopherol synthesis during abiotic stress. *Plant Physiol* 133:930-940
- James C (2013) Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2013. ISAAA Brief No. 46. ISAAA. Ithaca, NY
- Kanwischer M, Porfirova S, Bergmüller E, Dörmann P (2005) Alterations in tocopherol cyclase activity in transgenic and mutant plants of *Arabidopsis* affect tocopherol content, tocopherol composition, and oxidative stress. *Plant Physiol* 137:713-723
- KFDA (2011) Korean Food Standards Codex. Korea Food & Drug Administration. Chungwon, Korea
- Kim MS, Yang HR, Jeong YH (2004) Mineral contents of brown and milled rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33:443-446
- Kyoun OY, Oh SH, Kim HJ, Lee JH, Kim HC, Yoon WK, Kim HM, Kim MR (2006) Analyses of nutrients and antinutrients of rice cultivars. *Korean J Food Cookery Sci* 22:949-956
- 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
- 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
- Lee YT, Lee HM, Ahn BO, Cho HS, Suh SC (2013) Nutritional composition of drought-tolerant transgenic rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 42:730-735
- Machlin LJ, Filipinski R, Nelson J, Horn LR, Brin M (1977) Effects of a prolonged vitamin E deficiency in rat. *J Nutr* 107:1200-1208
- 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
- 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
- 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.
- USDA/FAS (2014) Grain: world markets and trade, June 2014. Foreign agricultural service/ United states department of agriculture. Washington, DC
- Woo HJ, Sohn SI, Shin KS, Kim JK, Kim BG, Lim MH (2014) Expression of tobacco tocopherol cyclase in rice regulates antioxidative defense and drought tolerance. *Plant Cell Tiss Organ Cult* 119:257-267
- Yokota T, Igarashi K, Uchihara T, Jishage K, Tomita H, Inaba A, Li Y, Arita M, Suzuki H, Mizusawa H, Arai H (2001) Delayed-onset ataxia in mice lacking alpha-tocopherol transfer protein: Model for neuronal degeneration caused by chronic oxidative stress. *Proc Natl Acad Sci USA* 98: 15185-15190